

**GESTION DE LA MEJORA EN EL PROCESO COORDINACION DE INSPECCIÓN DE
CALIDAD EN LA REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. BASADOS EN LA
METODOLOGÍA DMAIC DE LA FILOSOFÍA SEIS SIGMA**

**RINALDY GARCÉS LEON
RENALDO PAZ MÁRQUEZ
REINALDO VILLANUEVA PORTO**

**TRABAJO INTEGRADOR PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD**

**ASESOR
FABIAN GAZABON ARRIETA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD
CARTAGENA DE INDIAS D T Y C, 16 DE OCTUBRE DE 2009**



REFINERIA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A.

**GESTION DE LA MEJORA EN EL PROCESO COORDINACION DE INSPECCIÓN DE
CALIDAD EN LA REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. BASADOS EN LA
METODOLOGÍA DMAIC DE LA FILOSOFÍA SEIS SIGMA**

**RINALDY GARCÉS LEON
RENALDO PAZ MÁRQUEZ
REINALDO VILLANUEVA PORTO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACION GERENCIA DE PRODUCCION Y CALIDAD 2008
CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C, 16 OCTUBRE 2009.**

Cartagena de Indias D.T y C, 16 de octubre de 2009

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
POSTGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Ciudad

Respetados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración el taller integrador titulado **“GESTION DE LA MEJORA EN EL PROCESO COORDINACION DE INSPECCIÓN DE CALIDAD EN LA REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. BASADOS EN LA METODOLOGÍA DMAIC DE LA FILOSOFÍA SEIS SIGMA”**, desarrollada por los estudiantes Rinaldy Garcés León, Renaldo Paz Márquez y Reinaldo Villanueva Porto, en el marco de la especialización **Gerencia de Producción y Calidad 2008**, para optar al título de Especialista en Gerencia de Producción y Calidad, en la que me desempeñé cumpliendo la función de director.

Atentamente,

ING. FABIÁN ALFONSO GAZABÓN ARRIETA.

Director

Cartagena de Indias D. T y C. 16 de Octubre de 2009

Señores:
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
POSTGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Ciudad

Respetados Señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter a su consideración el taller integrador titulado **“GESTION DE LA MEJORA EN EL PROCESO COORDINACION DE INSPECCIÓN DE CALIDAD EN LA REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. BASADOS EN LA METODOLOGÍA DMAIC DE LA FILOSOFÍA SEIS SIGMA”**, en el marco de la especialización ***Gerencia de Producción y Calidad 2008***, para optar al título de Especialista en Gerencia de Producción y Calidad

Atentamente,

RINALDY GARCÉS LEÓN

RENALDO PAZ MÁRQUEZ

REINALDO VILLANUEVA PORTO

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma de Presidente

Firma Jurado

Firma Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C, 16 de octubre de 2009.

A Dios por la oportunidad brindada de alcanzar este nuevo logro

A ECOPETROL S.A. por su apoyo en todos los aspectos.

A mi familia por su apoyo incondicional

RINALDY GARCÉS LEÓN.

A mi mismo por ser tan perseverante.

A Dios por darme la oportunidad de tener un trabajo

Con qué pagar la Especialización.

RENALDO PAZ MÁRQUEZ

A Dios por ser mi guía y protección en todos los momentos de mi vida, por darme salud, sabiduría, voluntad y fortaleza para realizar este proyecto.

A mis padres quienes han sido parte esencial en mi formación personal y profesional, quienes con su apoyo y confianza me han llenado de seguridad y fortalezas para enfrentar cada paso de la vida.

A mi hermano por su confianza y apoyo.

A mis compañeros de proyecto quienes además de ser mis amigos, con su esfuerzo, conocimientos y dedicación brindaron aportes útiles y valiosos para la culminación de este proyecto.

REINALDO VILLANUEVA PORTO

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al Ingeniero Fabián Gazabón por sus valiosos aportes en el direccionamiento del presente proyecto en todas sus etapas de desarrollo.

Al Ingeniero Nicodemus Fernández, Coordinador Proceso de Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de mejora en esa área.

A todo el recurso humano del Proceso de Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., por su buena actitud e incondicional colaboración, en el suministro de información y otros recursos fundamentalmente necesarios para la elaboración exitosa del presente proyecto.

Igualmente, agradecemos al cuerpo de docentes de la Especialización en Gerencia de Producción y Calidad que bien seleccionó la Universidad Tecnológica de Bolívar para el desarrollo del programa de postgrado. En especial al Ingeniero Misael Cruz, director del programa por su apoyo y colaboración durante el desarrollo del mismo.

A nuestros compañeros de clases quienes también ayudaron a elevar el grado de exigencia de cada materia y por haber hecho placentero el tiempo que estuvimos compartiendo y aprendiendo de cada uno de nosotros y de nuestras experiencias.

Y a todas aquellas personas que, aunque no mencionemos sus nombre, este proyecto no hubiese podido ser alcanzado de forma satisfactoria.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. DESARROLLO DE LA CALIDAD A TRAVÉS DEL SEIS SIGMA	5
1.2 TQM Vs. SIX SIGMA	15
1.3 MARCO CONCEPTUAL	17
1.3.1 Color ASTM Y Color Saybolt	17
1.3.2 Estabilidad térmica	17
1.3.3 Viscosidad Aparente	17
1.3.4 Líquido Newtoniano	17
1.3.5 Viscosidad	17
1.3.6 Octanaje ó índice de octano	17
1.3.7 Evaluación por Micro Separómetro (MSEP)	17
1.3.8 Presión de vapor	18
1.3.9 Piano	18
1.3.10 Número de ácido	18
1.3.11 Contenido de agua por destilación en hidrocarburos	18
1.3.12 Cromatografía de gases	18
1.3.13 Azufre	18
1.3.14 Compuestos Fenólicos	18
1.3.15 Conductividad y resistividad en al agua	19
1.3.16 PH del agua	19
1.3.17 Reacción al agua de los combustibles de aviación	19
1.3.18 Sal en crudo	19
1.3.19 Contenido de gomas en combustible	19
1.3.20 Insolubles en n-Heptano	19
1.3.21 Corrosión lamina de cobre	19
1.3.22 Destilación	20
1.3.23 La gravedad API	20
1.3.24 Penetración	20
1.3.25 Olefinas	20
1.3.26 Gasolina motor corriente y extra	20
1.3.27 ACPM o Diesel	20
1.3.28 Jet A-1 (Turbocombustible o turbosina)	20
1.3.29 Combustóleo o Fuel-Oil	21
1.3.30 Queroseno	21
1.3.31 IFO	21
1.3.32 Gas licuado del Petróleo – GLP	21
1.3.33 Alquitrán aromático (Arotar)	21

1.3.34 Disolventes alifáticos	21
1.3.35 Azufre	21
1.3.36 Disolvente aromático	21
1.3.37 Asfaltos	21
1.3.38 Bases lubricantes	22
1.3.39 Parafinas	22
1.3.40 Planta de Crudo Unidad de destilación combinada	22
1.3.41 Planta de Viscorreductora	22
1.3.42 Planta de Cracking Unidad de ruptura catalítica	23
1.3.43 Sección de Productos Livianos	23
1.3.44 Planta de Polimerización	23
1.3.45 Planta de Amina	24
1.3.46 Planta de Tratamiento	24
1.3.47 Planta Eléctrica	24
1.3.48 Planta de Elementos Externos Materias primas y productos	24
1.3.49 Downstream	25
1.3.50 Upstream	25
1.3.51 SILAB	25
1.3.52 Metales	25
1.3.53 Severidad (S)	25
1.3.54 Modo potencial de falla	25
1.3.55 Efecto(s) de la falla potencial	26
1.3.56 Ocurrencia (O)	26
1.3.57 Número de prioridad del riesgo (NPR)	26

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2. RESEÑA HISTORICA	27
2.1 ORGANIGRAMA	32
2.1.1 Organigrama Estructura Ecopetrol.	32
2.1.2 Organigrama Estructura Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	33
2.2 MISIÓN	33
2.3 VISION 2015	33
2.4 MEGAS ECOPETROL 2008-2015	34
2.4.1 UPSTREAM	34
2.4.2 DOWNSTREAM	34
2.5 MAPA DE PROCESO DE ECOPETROL S.A.	35
2.6 MAPA DE PROCESOS REFINERIA DE ECOPETROL CARTAGENA	35
2.7 VALORES CORPORATIVOS	36
2.7.1 POLITICAS DE CALIDAD Y SEGURIDAD	36
2.7.2 OBJETIVOS DE CALIDAD DE ECOPETROL S.A.	36
2.7.3 POLÍTICA DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL	37

3. ETAPA DEFINIR	
3.1 EVIDENCIA DEL PROBLEMA	39
3.2 REPORTE DE FALLAS EXTERNAS	39
3.3 REPORTE DE FALLAS INTERNAS	42
4. ETAPA MEDIR	
4.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	53
4.2 CALCULO DEL NIVEL SIGMA PARA EL PROCESO DE COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD	57
4.3 CALCULO DE LOS COSTOS DE CALIDAD	61
5. ETAPA ANALIZAR	
5.1 HIPÓTESIS INICIAL	64
5.2 ANALISIS DE DATOS Y PROCESOS	65
5.2.1 ANALISIS DEL PROCESO	65
5.2.1.1 Fase de Exploración.	65
5.2.1.1.1 Análisis de la caracterización del proceso	67
5.2.1.2 Generación de Hipótesis	68
5.2.1.3 Selección y verificación de las causas en el proceso Coordinación Inspección de calidad.	70
5.2.2 ANALISIS DE DATOS	71
5.2.2.1 Fase de Exploración	71
5.2.2.1.1 Análisis de La Grafica de Control del Proceso	72
5.2.2.2 Generación de Hipótesis	76
5.2.2.2.1 Análisis FMECA (Análisis Modal de Fallas y Efectos) de los Equipos con mayor impacto en el problema de estudio por baja confiabilidad operacional.	82
5.2.2.3 Selección de la causa Raíz del Problema	92
5.2.2.4 Verificación de las Causas Seleccionadas	92
6. ETAPA MEJORAR	
7. CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	106

LISTA DE CUADROS

	PAG.
Cuadro 1.1 Diferencias entre Six Sigma y el TQM.	17
Cuadro 2.1 Objetivos de calidad de ECOPETROL S.A.	36
Cuadro 3.1 Cuadro de Proyecto DMAIC Refinería De Cartagena ECOPETROL S.A.	52

LISTA DE TABLAS

	PAG.
Tabla No.3.1 Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	40
Tabla No.3.2 Causas de Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	41
Tabla No 3.3 Indicador de Gestión del Laboratorio Análisis Programado VS Ejecutados.	44
Tabla No 3.4 Cantidad de Análisis no realizados por tipo de Productos	44
Tabla No 3.5 Tabla de distribución de frecuencia. Cantidad de Análisis dejados de realizar por tipo de Productos.	46
Tabla No 3.6 Tabla de distribución de frecuencia Análisis dejados de realizar.	48
Tabla No 3.7 Tabla de distribución de frecuencia. Causas asignables de la no realización de los análisis Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	50
Tabla N° 4.1 Eficiencia mensual del laboratorio y Cálculo de Nivel Sigma Periodo de estudio	58
Tabla N° 4.2 Tabla de conversión de Sigma	59
Tabla N° 4.3 Análisis de Costos de Calidad de Productos en Proceso	62
Tabla N° 4.4 Análisis de Costos de Calidad de Productos Terminados	63
Tabla N° 5.1 Caracterización Del Proceso Coordinación Inspección De Calidad	63
Tabla N° 5.2 Consolidado total tiempos Análisis laboratorio	70
Tabla N° 5.3 Cálculo de confiabilidad equipo Destilador LABCL19	78
Tabla N° 5.4 Cálculo de confiabilidad equipo cromatógrafo LABGS21	78
Tabla N° 5.5 Cálculo de confiabilidad equipo Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08	79
Tabla N° 5.6 Cálculo de confiabilidad equipo Maquina para Análisis de octanos LABCL02	79
Tabla N° 5.7 Cálculo de confiabilidad equipo Espectrofotómetro succión atómica LABIT19 (A/A)	80
Tabla N° 5.8 Cálculo de confiabilidad equipo chispómetro LABLC34	80
Tabla N° 5.9 Cálculo de confiabilidad equipo Cromatógrafo de Gases LABGS09	81
Tabla N° 5.10 Confiabilidad equipos de Laboratorio Refinería Cartagena S.A.	81
Tabla N° 5.11 Clasificación de las fallas	83
Tabla N° 5.12 Probabilidad de Ocurrencia	84
Tabla N° 5.13 Probabilidad de Severidad	84
Tabla N° 5.14 Probabilidad de Detección	85
Tabla N° 5.15 FMECA Destilador LABCL19	86
Tabla N° 5.16 FMECA Cromatógrafo LABGS21 (FPD) Y LABGS09	87
Tabla N° 5.17 FMECA Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08	88
Tabla N° 5.18 FMECA Equipo Análisis de Octano LABCL02	89
Tabla N° 5.19 FMECA Equipo para detectar Metales por Absorción Atómica LABIT19	90
Tabla N° 5.20 FMECA Equipo para medir Chispa LABCL34	91

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1.1 Metodología de mejoramiento DMAIC de alto nivel	10
Figura 1.2 Árbol CPC para un hospital, donde el paciente es el cliente del proceso de registro.	11
Figura 1.3 Diagrama de proceso	11
Figura 1.4 Histograma	12
Figura 1.5 Diagrama causa- efecto	12
Figura 1.6 Diagrama de Pareto	13
Figura 1.7 Diagrama de comportamiento	13
Figura 1.8 Diagrama de control	14
Figura 1.9 Diagrama de Causalidad	14
Figura 2.1 Estructura Organizacional ECOPETROL S.A.	32
Figura 2.2 Estructura Organizacional Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	33
Figura 2.3 Mapa De Procesos ECOPETROL S.A.	35
Figura 2.4 Mapa De Procesos ECOPETROL S.A.	35
Figura 5.1 Organigrama Coordinación Inspección de Calidad	69
Figura 5.2 Etapas para la mejora de procesos	73
Figura 5.3 Diagrama de Causa Efecto	77

LISTA DE GRAFICOS

	PAG.
Gráfico No.3.1 Causas de Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	41
Gráfica N° 3.2 Porcentajes de Cantidades de Análisis no realizados por Tipo de Productos.	45
Grafica N° 3.3 Gráfico de Pareto. Cantidad de Análisis dejados de realizar por tipo de Productos.	46
Gráfica N° 3.4 Gráfico de Pareto Análisis dejados de realizar	49
Gráfica N° 3.5 Gráfico de Pareto. Causas asignables de la no realización de los análisis Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	50
Gráfico N° 4.1 Arquitectura del sistema Software SILAB v5.1	55
Gráfico No 4.2 Funcionalidad de VoBo Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	56
Gráfico No 4.3 Nivel de Sigma 6σ Objetivo vs. Nivel de sigma del cumplimiento actual del Laboratorio Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.	60
Gráfico 5.1 Grafico de control del Proceso	72
Gráfico 5.2 Histograma de proceso	74
Gráfico 5.3 Test Normalidad	75
Gráfico 5.4 Capacidad del proceso.	75
Grafico 5.5 Grafica desarrollo Practico FMECA	93
Grafico 6.1 Matriz 5W2H Capacitación del Personal del Laboratorio	95
Grafico 6.2 Matriz 5W2H Adquisición de Equipos Deshumificadores para el Laboratorio	97
Grafico 6.3 Matriz 5W2H Cambio General de la Redes Eléctricas y Acometida Regulada para el Laboratorio	98
Grafico 6.4 Matriz 5W2H Contratación de Tres Analistas para el Laboratorio	99
Grafico 6.6 Matriz 5W2H Subir el indicador de Productividad del Laboratorio	100
Grafico 6.6 Matriz 5W2H Adquirir nuevos equipos para A.A. y Destilación	101

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Análisis realizados sección de control
- Anexo B.** Análisis realizados sección Analítica
- Anexo C.** Análisis realizados sección Gases
- Anexo D.** Análisis realizados sección Instrumental
- Anexo E.** Análisis realizados sección Especiales
- Anexo F.** Análisis realizados sección Aguas
- Anexo G.** Análisis realizados sección VoBo

RESUMEN

En el marco de este proyecto integrador se desarrolla el tema de Gestión de mejoramiento de los procesos como medio estratégico de Calidad y Competitividad para la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., empleando la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) por sus siglas en inglés, la que es pilar de la filosofía Six Sigma (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar).

Este documento se encuentra organizado en seis capítulos, los cuales describen los tópicos como se muestra a continuación.

En el capítulo uno se muestran los referentes teóricos que se relacionan y que caracterizan el tema a tratar en el presente proyecto, además, se hace una relación en cuanto a la metodología usada en el proyecto con otras metodologías, con el fin de justificar y resaltar las ventajas del DMAIC frente a las otras.

En el capítulo dos, se realizó una descripción general de la empresa ECOPETROL S.A., su historia, su misión, visión, política de calidad y valores corporativos.

Seguidamente en el capítulo tres se inicia la implementación de la etapa Definir que hace parte de la metodología DMAIC. En esta etapa se define cual será el defecto objeto de estudio; esto se hizo con base a unos datos recolectados y a través de herramientas estadísticas para llegar a este objetivo, acompañada de una justificación del porque se seleccionó el problema.

En el aparte cinco, se realizó un análisis detallado de los datos obtenidos de la anterior etapa; haciendo uso de las hipótesis planteadas y de las herramientas estadísticas donde surgirán una serie de causas la cuales serán evaluadas y descartadas determinando así la causa raíz del problema, junto con una verificación de las causas

seleccionadas. Se calculan además los tiempos de fallas de los equipos que mas impactan con el problema de los incumplimientos y por último a éstos se les realiza un análisis FMECA.

Finalmente, en el capítulo seis se procede con la fase de mejora donde se proponen acciones correctivas a las causas raíz determinadas.

Por la limitación y alcance del presente proyecto solo se trabaja la gestión de mejora hasta la fase de propuestas de mejoras y no se realizó la fase de implementación y control de la metodología.

INTRODUCCIÓN

La fuerte competencia que se presenta en los mercados de hoy ha llevado a las empresas a realizar un gran esfuerzo para crear valor, reducir los costos y enlazarse mejor con los actores externos como clientes, proveedores y contratistas, de allí que las compañías se esmeren por crear nuevas formas de desarrollo empresarial.

Estas competencias aunadas a los cambios en el ambiente mundial del sector de hidrocarburos y la globalización de los mercados, ha exigido a las refinerías de este sector adoptar medidas eficaces, efectivas y optimas para reducir al máximo los costos de calidad, de esta manera, se ven en la obligación de mejorar sus procesos con el fin de ser más productivos y producir con calidad, para llevar productos idóneos al mercado y satisfacer a sus clientes, Convirtiéndolas en organizaciones dinámicas para lograr mayor rentabilidad y permanencia en el mercado.

Teniendo en cuenta estos cambios, para la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., obtener una cantidad de productos no conformes, es decir, por fuera de especificaciones, significa enormes pérdidas económicas operacionales, por manejo de inventarios, reprocesos y en el peor de los casos, sanciones estatales e internacionales a las que haya lugar por el incumplimiento de estándares intrínsecos en los combustibles refinados y distribuidos.

Es por esta razón que el desarrollo de este proyecto se centra en identificar las causas que afectan a uno de los procesos fundamentales de la cadena productiva de ECOPETROL S.A. como es el proceso de “Coordinación De Inspección De Calidad” comúnmente conocido como Laboratorio, en el cual se evalúan y verifican las características de calidad de los productos que allí se fabrican, esto con el fin de plantear mejoras que ayuden a optimizar esta área a través de una herramienta de calidad como es DMAIC de la filosofía seis sigma.

Con la aplicación de esta herramienta se buscara crear en esta área una cultura de calidad y de mejora continua que sea transmitida a todos los niveles operativos y procesos que participan en el ciclo de producción de la empresa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Gestionar un proceso de mejora en la Coordinación de Inspección de Calidad en la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A. a través de la metodología DMAIC, con el fin de evaluar el nivel de desempeño de esta área y de esta forma, realizar un plan para la solución de los diferentes problemas que originan los incumplimientos en los análisis requeridos durante el procesamiento y terminación de los diferentes productos refinados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el marco de información del proyecto, con el fin de suministrar al equipo toda la información relevante del proceso de mejora.
- Identificar las necesidades y requerimiento del Proceso de Coordinación de Inspección de Calidad, mediante la interrelación con el recurso humano que interviene en el mismo, para establecer los criterios que se tendrán en cuenta para la evaluación del nivel de desempeño.
- Realizar un análisis discriminado del proceso de Coordinación de Inspección de Calidad en la refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., con el fin de determinar cuales son las principales causas del incumplimiento en la realización de análisis.
- Establecer y ejecutar un plan para la recolección de la información, mediante la medición del grado de incumplimiento de los análisis no realizados, que permita generar la línea base Sigma de este proceso.

- Analizar los datos e información recolectada para aplicar las herramientas estadísticas y de ingeniería, determinando así el comportamiento de las diferentes variables y plantear acciones para mantener estas bajo control.
- Determinar la causa raíz entre las diferentes fuentes que originan el incumplimiento de la realización de los análisis físico químicos en el laboratorio.
- Proponer posibles soluciones a la causa raíz de la problemática en estudio, a través del uso de herramientas de Ingeniería y así establecer un plan de acción para eliminar las causas que generan las no ejecuciones de los análisis programados.
- Seleccionar la mejor solución con base a un establecimiento de prioridades para la mejora del proceso.

1. MARCO TEÓRICO

1.1.1 DESARROLLO DE LA CALIDAD A TRAVÉS DEL SEIS SIGMA

La metodología Six Sigma, fue desarrollada en la empresa Motorola, a comienzos de la década de los años ochenta. Con el pasar del tiempo, se le atribuyó a Six Sigma, haber sido el principal ingrediente, que permitió a Motorola, ganar el premio nacional estadounidense a la calidad, el Malcolm Baldrige National Quality Award, en 1988.

La letra griega Sigma (σ) es algunas veces utilizada para señalar la variación del estándar.

Six Sigma, es una metodología muy disciplinada para manejar el mejoramiento de procesos en la empresa. El Six Sigma, busca alcanzar el casi “cero defectos”. Su meta numérica es la de lograr el 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Six Sigma contempla arreglar los procesos para que casi alcancen la perfección. Luego los controla para que se mantengan en el nuevo nivel de desempeño. La obsesión de la metodología del Six Sigma es la de “eliminar la variabilidad de los procesos”.

La estrategia en la cual está basada esta metodología, para eliminar los defectos en los procesos, está dividida en cuatro fases, muy similares al célebre ciclo Shewhart: **Plan, Do, Check and Act**. Las fases son: (1) Medición Esta etapa contempla la utilización adecuada de los principios de la estadística descriptiva. Las organizaciones deben hacer uso de sistemas de medición y de indicadores adecuados de gestión y saber medir su desempeño, los defectos y sus frecuencias. (2) Análisis En esta etapa se hace uso de herramientas y métodos estadísticos para saber aislar la información crítica relacionada con ciertos defectos en estudio. Se trata de llevar al lenguaje estadístico los problemas de un proceso.

Aquí se hace mucho uso de la lógica de los diagramas Pareto. (3) Mejoramiento El énfasis está en descubrir las variables claves que causan el problema en estudio. (4) Control La estrategia básica del Six Sigma está centrada en esta fase. A través de un control constante del desempeño del proceso, se trata de evitar que el mismo problema se vuelva a presentar. Esta fase es de mantenimiento.

La estrategia del Six Sigma, está sustentada en un método científico muy disciplinado para utilizar de manera rigurosa, la recolección de datos y el análisis estadístico. El fin de la metodología es identificar las fuentes de errores y los medios para eliminarlos.

Los proyectos Six Sigma para el mejoramiento de procesos son escogidos en base a una retroalimentación del cliente y posibles ahorros en los costos de la mala calidad. “Six Sigma” trata de obtener calidad, sólo si añade valor al cliente y a la firma. Cada proyecto de mejoramiento de procesos tiene que tener impacto en la competitividad de la empresa.

Quienes han desarrollado la filosofía Seis Sigma, aseguran que los beneficios incluyen hasta una reducción del 50% de los costos del proceso, mejora en el ciclo de proceso, menos desperdicio de materiales, mejor entendimiento de los requerimientos del cliente, aumento en la satisfacción del cliente, productos y servicios de mejor desempeño y confiabilidad. Se reconoce que la implementación de Six Sigma puede ser costosa y puede tardar varios años antes que la compañía empiece a ver resultados.

La magia del Six Sigma no radica en complejidades estadísticas o de alta tecnología; en realidad, se apoya en métodos que han estado al alcance de cualquiera desde hace décadas. Y deja de lado buena parte de la complejidad que caracterizó a la Gestión de la Calidad Total o TQM. Esta filosofía se basa en 3 pilares o elementos fundamentales, los cuales son: la estrategia, la técnica y la cultura.

Antes de hablar de estos tres elementos se hace una breve descripción de la infraestructura y del compromiso requerido por el Six Sigma en términos de recursos humanos.¹

Para poder alcanzar mejoras en el desempeño se debe iniciar con la capacitación del personal directivo, tanto en los principios como en las herramientas que necesitan para guiar la organización hacia el éxito. De igual manera, con el fin de asegurar que todos los empleados tengan niveles adecuados de formación, se les brinda un entrenamiento en habilidades básicas. La capacitación es de arriba hacia abajo en herramientas y técnicas de mejoramiento de sistemas. La infraestructura del Six Sigma o agentes del cambio, como son denominados, está conformada de la siguiente manera:

- Champions: (paladines y patrocinadores): Este suele ser el dueño del proceso, el que guía estratégicamente al equipo, aunque por lo general no es miembro de tiempo completo. Estos ayudan a seleccionar los miembros del equipo, a conseguir recursos y eliminar los obstáculos que se presenten.²
- Cinturón Negro Maestro: (Master Black Belt): Representa el nivel más alto de idoneidad técnica y organizacional; son los encargados de brindar liderazgo técnico al programa de Six Sigma. Estos deben saber todo lo que sabe un cinturón negro (black belt), y entender, además, la teoría matemática que sustenta los métodos estadísticos.³
- Cinturón Negro (Black Belt): los cinturones negros tienen la responsabilidad de realizar las actividades diarias relacionadas con el equipo, desde preparar la orden del día, hasta no dejar que los miembros se aparten del DMAIC. Estos

¹ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 40.

² GEORGE, Eckes; Six Sigma para todo s. p. 52.

³ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 42.

Pueden provenir de una amplia variedad de disciplinas sin necesidad de contar con estudios formales de estadística o ingeniería.⁴

- Cinturón verde: En esta categoría se encuentran los líderes de proyecto Six Sigma capaces de formar equipos, colaborar con ellos y manejar esos proyectos de principio a fin. Su entrenamiento corre por cuenta de los Champions. A diferencia de las dos categorías anteriores no trabajan a tiempo completo en los proyectos.⁵

Regresando a los elementos fundamentales del Six Sigma mencionados anteriormente, los cuales son las bases o pilares de esta filosofía encontramos el primero de ellos denominado, la Estrategia. El Six Sigma a diferencia de otras iniciativas de calidad que la precedieron es una filosofía gerencial en la cual los ejecutivos tienen que tomar parte activa en su aplicación. El vehículo para esa participación es la creación de la estrategia denominada administración del proceso empresarial.

Los pasos involucrados en la creación de esta estrategia incluyen la identificación de los procesos claves que afectan los objetivos estratégicos empresariales. Una vez identificado dichos procesos, es preciso efectuar mediciones de eficacia y eficiencia y validarlas. En seguida el proceso se centra en el mejoramiento de los procesos de peor desempeño y de mayor impacto.⁶

El segundo elemento es la Técnica o las Tácticas del Six Sigma. Lo que tratan de hacer las tácticas del Six Sigma en un proyecto es lograr mayor eficacia y eficiencia. Las herramientas utilizadas por Six Sigma se desarrollan en el marco del modelo conocido como DMAIC (por sus siglas en inglés, **Define, Measure, Analyze, Improve, Control**).⁷

⁴ GEORGE, Eckes; Six Sigma para todos. p. 53

⁵ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 43.

⁶ GEORGE, Eckes; Six Sigma para todos. p. 44.

⁷ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 41.

Estos cinco pasos de alto nivel pueden describirse del siguiente modo:

Definir: En este paso se organiza el equipo del proyecto, se prepara un cuadro, se determinan y verifican las necesidades y requisitos de los clientes; y finalmente se crea un diagrama de alto nivel del proceso actual.

Medir: El sistema existente. Establecer parámetros válidos y confiables para monitorear el avance hacia las metas definidas en el paso anterior. Se empieza por determinar la línea base de desempeño (σ) actual. Luego, se procede a realizar el análisis exploratorio y descriptivo.

Analizar: Durante este paso el equipo analiza los datos y el proceso en sí, lo que lleva finalmente a determinar la causa raíz del mal desempeño sigma (σ).

Mejorar: En este paso, el equipo genera y selecciona una serie de soluciones encaminadas a mejorar el desempeño (σ).

Controlar: Aquí se aplican una serie de herramientas y técnicas al proceso mejorado a fin de que el mejoramiento del desempeño (σ) no decaiga con el tiempo.

Cada uno de los pasos del DMAIC comprende otras subdivisiones, denominadas peajes (ver figura 1.1), los cuales indican un trabajo específico que debe realizar un equipo de proyecto a medida que progresa en los distintos pasos.⁸

⁸ GEORGE, Eckes; Six Sigma para todo s. p. 49-50.

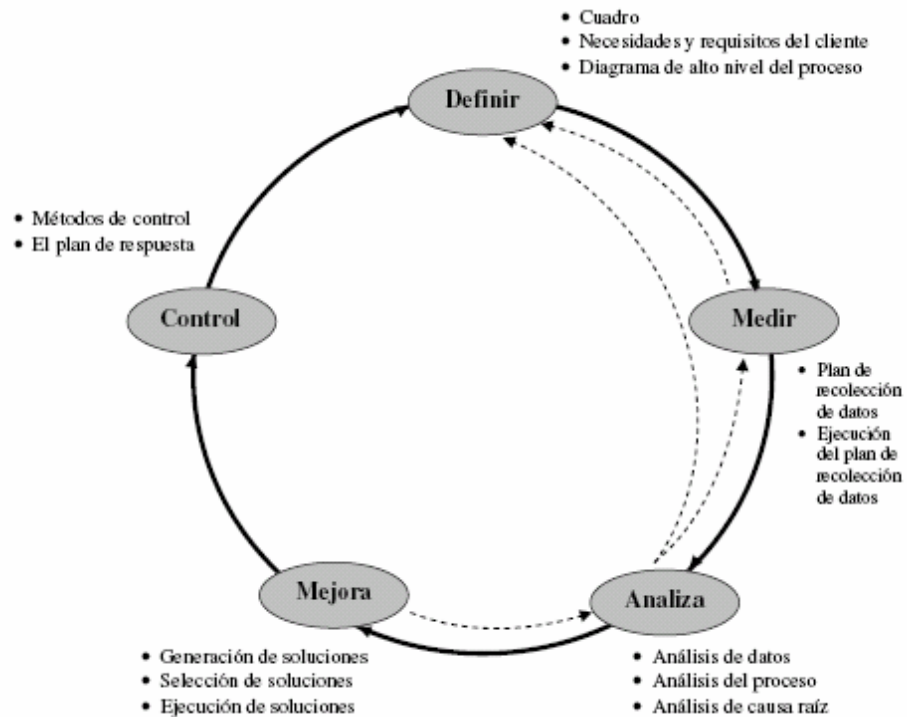


Figura 1.1 Metodología de mejoramiento DMAIC de alto nivel

Fuente. GEORGE, Eckes; Six Sigma para todos. p. 50.

El tercer componente clave del Six Sigma es el cultural. Este elemento hace referencia a la capacitación exhaustiva que debe tener todo el personal que hace parte de un equipo 6 σ . Las personas no pueden hacer lo que ignoran; para lograr mejoras en el rendimiento y en la relación con los clientes, la empresa tiene que capacitar a su personal. No basta el sentido común para poner en práctica una estrategia Six Sigma, hay que entrenar a la gente porque nadie nace con ese conocimiento.⁹

Durante el tiempo que se está trabajando en un equipo 6 σ es necesario usar una variedad de herramientas y técnicas de recolección y análisis de datos; entre las cuales encontramos las siguientes:

⁹ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 48.

- **El árbol crítico para la calidad (CPC):** Esta herramienta nos permite identificar y validar las necesidades y requisitos del cliente del proceso que se ha escogido para mejorar.¹⁰

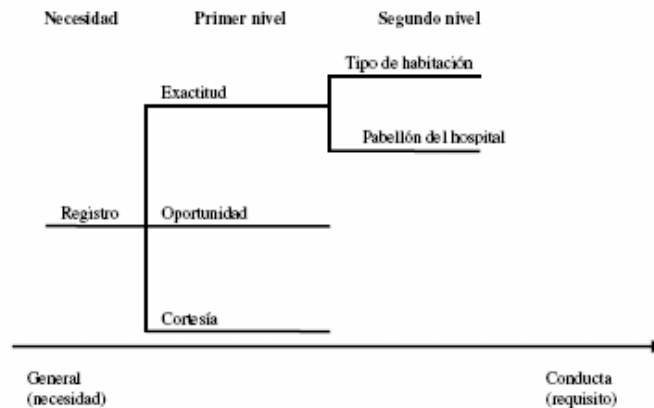


Figura 1.2 Árbol CPC para un hospital, donde el paciente es el cliente del proceso de registro.

Fuente. GEORGE, Eckes; Six Sigma para todos. p. 99.

- **El diagrama de proceso:** es la representación gráfica de los pasos actuales del proceso que se ha escogido para mejorar. En este se identifican los proveedores del proceso, los insumos que reciben de los proveedores, el nombre del proceso, su producto y sus clientes.

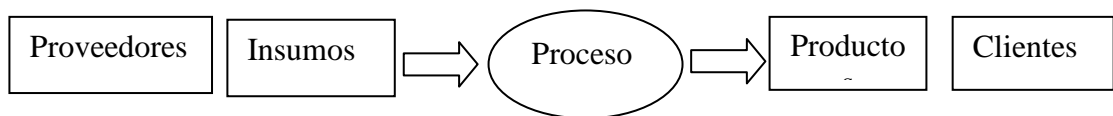


Figura 1.3 Diagrama de proceso

Fuente: George Eckes; Six Sigma para todos. p. 101.

- **El histograma:** Proveen la forma de distribución de los datos, así la tendencia central y la variabilidad se pueden estimar fácilmente. Los límites inferior y superior se pueden sobreponer para estimar la capacidad del proceso.¹¹

¹⁰ GEORGE, Eckes; Six Sigma para todo s. p. 98.

¹¹ www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

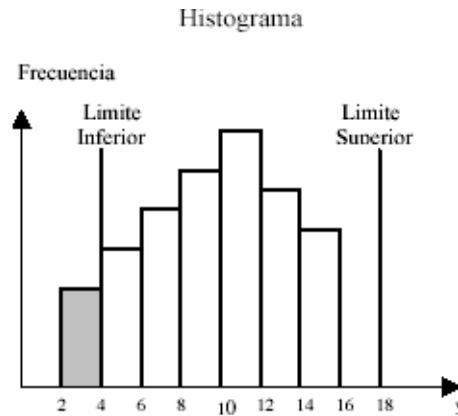


Figura 1.4 Histograma

Fuente: www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

- **Diagrama causa – efecto:** también denominado diagrama de espina de pescado, este Diagrama muestra la relación entre una característica de calidad y los factores que influyen en esta.¹²

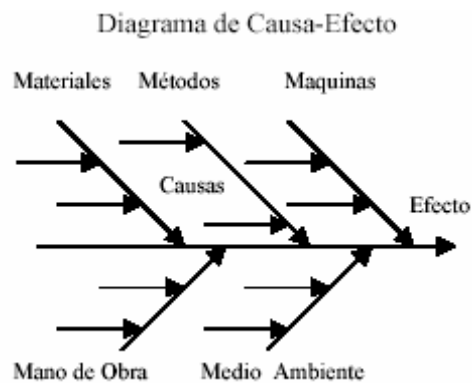


Figura 1.5 Diagrama causa- efecto

Fuente: www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

- **Diagrama de Pareto:** se aplica para jerarquizar las causas principales de los problemas en los procesos. Permite identificar los pocos problemas vitales de los muchos triviales, y así concentrarnos realmente en el problema de mayor impacto en la calidad del producto.

¹² KUME, Hitoshi; Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad; ed. norma; p. 40.

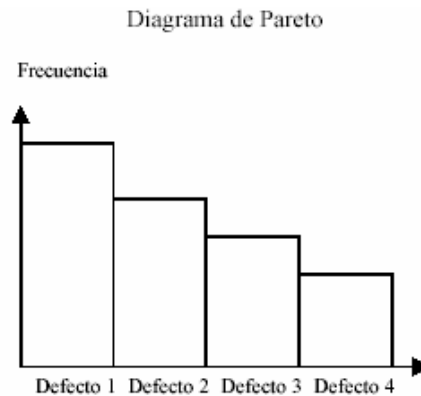


Figura 1.6 Diagrama de Pareto

Fuente: www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

- **Diagrama de comportamiento:** utilizado para registrar algún elemento de un proceso que se desarrolla en el transcurso del tiempo. ¹³

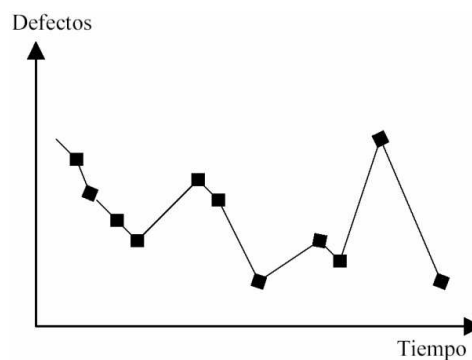


Figura 1.7 Diagrama de comportamiento

Fuente: www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

- **Diagrama de control:** consiste en una línea central, un par de límites de control, uno de ellos colocado por encima de la línea central y otro por debajo, y en unos valores característicos registrados en la grafica que representa el estado del proceso. Si todos los valores ocurren dentro de los límites, sin ninguna tendencia especial, se dice que el proceso está bajo control. Sin embargo, si ocurren por fuera de los límites de control o muestran una forma peculiar, se dice que el proceso está fuera de control.

¹³ GEORGE, Eckes; Six Sigma para todo s. p. 115.

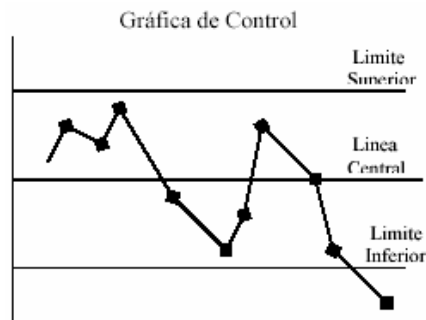


Figura 1.8 Diagrama de control

Fuente. www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9969#

- Matriz de causalidad: Es una herramienta que pretende identificar dentro de un conjunto de síntomas, el punto de partida para efectuar las mejoras necesarias en el área de aplicación, al detectar aquel problema que, al ser atacado, cause el mayor impacto positivo en la empresa, por ser el que se relaciona con mas síntomas y que genera los problemas más indeseables.¹⁴

Problemas	1	2	3	4	5	6	7
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Figura 1.9 Diagrama de Causalidad

Fuente- QUINTERO, Humberto y FUENTES, Pablo. Análisis y Diseño de una propuesta de Mejora de los Procesos de Planeación, Programación y Control de la Producción en la empresa L'atelier Ltda.

¹⁴ CAMARA DE COMERCIO DE CARTAGENA. Construcción del PREPODES, Junio de 2003, citado por QUINTERO, Humberto y FUENTES, Pablo. Análisis y Diseño de una propuesta de Mejora de los Procesos de Planeación, Programación y Control de la Producción en la empresa L'atelier Ltda. Que pertenece al sector de la madera de la ciudad de Cartagena, Cartagena: 2003, p-215- Universidad Tecnológica de Bolívar, Programa de Ingeniería Industrial.

1.2 TQM Vs. SIX SIGMA

Después de haber definido el concepto de Six Sigma, conocer sus ventajas, cada una de las fases de la técnica utilizada por este, el DMAIC, y las diferentes herramientas estadísticas que deben ser utilizadas por los miembros de un equipo de mejoramiento. A continuación se realizará una comparación entre el TQM y el Six Sigma, desde el punto de vista estratégico, con el propósito de identificar claramente las ventajas de este último con respecto a la filosofía que sus precursores enuncian como su antecesor, el TQM.

Antecesora de Six Sigma, la TQM (Total Quality management o Gestión de la Calidad Total) no dio los resultados que prometía porque, entre otras cosas, ¹⁵ “carecía de un objetivo específico”, sostiene Mikel Harry.

Six Sigma, en cambio, tiene una meta concreta: lograr menos de 3,4 defectos por millón de oportunidades en productos o servicios. A juicio del especialista, el objetivo “primero y fundamental” de la estrategia Six Sigma consiste en generar aumentos inmediatos en los márgenes de ganancias, habida cuenta de que cada mejora en la calidad se traduce en una reducción de los costos operativos. En cierto sentido, más que un sistema de gestión con fundamento científico, la TQM era una filosofía. Por otra parte no ponía foco en las mediciones, mientras que en Six Sigma juegan un papel crítico.

No es secreto que Six Sigma emplea algunas de las mismas técnicas de la TQM (Gestión de la Calidad Total). Ambas subrayan que la mejora de la calidad es crítica para el éxito de un negocio. El ciclo PHVA (planear, hacer, verificar, actuar), empleado en TQM, no difiere sustancialmente del DMAIC, usado en Six Sigma. La diferencia reside en la “gestión”. La TQM le aportó guías tan abstractas y generales, que solo los líderes dotados de gran talento pudieron desplegar. Six Sigma, por el contrario, no fue

¹⁵ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 45-46.

desarrollada por técnicos con un interés superficial en la gestión, sino por algunos de los principales líderes de los negocios que tenían, como meta, el éxito de sus empresas.¹⁶

A pesar de que hay diversas opiniones y puntos de vista acerca de si hay o no diferencias entre el TQM y Six Sigma, o si son complementarias la una con la otra, lo que con certeza sabemos es que esta nueva filosofía de calidad está creciendo enormemente en popularidad, gracias al rumbo claro al éxito que está proporcionando.

Para finalizar se presenta el siguiente cuadro comparativo entre el TQM y el Six Sigma. Este cuadro ilustra las principales diferencias entre ambas filosofías desde el punto de vista estratégico.

6 SIGMA	TQM
Una infraestructura de los agentes dedicados al cambio	Contratan a la gente para deberes rutinarios (Planeamiento, mejora, y control).
Una especialidad funcional dentro de la Organización	Se enfoca en metas estratégicas que van aplicadas a los costos, el horario y a otras metas dominantes del negocio
Enfocado a la calidad	Conducido por el beneficio material de un grupo importante de accionistas (clientes, accionistas, y empleados).
Motivado por el idealismo de la calidad, Los recursos se crean para cambiar los Procesos claves en el negocio y la organización en si.	Énfasis en la solución de problemas
Se asegura de que la inversión produzca los resultados esperados	Poca exactitud de los monitoreos hacia las metas.
Enfoque en el desempeño de clase mundial, 3.4 defectos por millón.	Enfoque en el funcionamiento estándar, ejemplo: ISO 9000.
Proporciona un sistema extenso de herramientas y de técnicas y da un marco claramente definido para usarlas, para alcanzar los resultados (DMAIC).	Proporciona un subconjunto Seleccionado de herramientas y de técnicas sin el Marco claro para usarlas con eficacia
Las metas se elaboran sobre la base de los clientes y	Las metas son desarrolladas por el departamento de la calidad basado en criterios de calidad y la concepción, de

¹⁶ Revista Gestión; Volumen 6; abril – mayo 2003; p. 53.

a los objetivos estratégicos de la dirección mayor.	que lo que es bueno para la calidad es bueno para la organización
Six Sigma busca una mezcla de resultados a corto plazo y a largo plazo, según lo dictado por demandas del negocio.	Enfoque en resultados a largo plazo. La rentabilidad prevista no está bien definida.

Cuadro 1.1 Diferencias entre Six Sigma y el TQM.

Fuente. /www.calidad.org/public/arti2003/1059094322_adolfo.htm

1.3 MARCO CONCEPTUAL

1.3.1 Color ASTM Y Color Saybolt: El nombre de una escala empírica para expresar el color de líquidos del petróleo.

1.3.2 Estabilidad térmica: es la resistencia del combustible a la formación de productos de degradación cuando se somete a esfuerzo térmico.

1.3.3 Viscosidad Aparente: Es la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte de líquidos newtonianos y no newtonianos.

1.3.4 Líquido Newtoniano: Un líquido para el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte. Algunos líquidos muestran comportamiento newtoniano o no newtoniano dependiendo de la velocidad de corte.

1.3.5 Viscosidad: La relación entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte aplicado se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia al flujo de un líquido, comúnmente llamado viscosidad.

1.3.6 Octanaje ó índice de octano: Es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible (como la gasolina) a detonar prematuramente cuando es comprimido dentro del cilindro de un motor.

1.3.7 Evaluación por Micro Separómetro (MSEP) – Un valor numérico que indica la facilidad de separación de agua emulsionada del combustible por coalescencia, en la medida que es afectada por presencia de materiales de superficie activa.

1.3.8 Presión de vapor: Presión que ejerce el vapor en equilibrio con el líquido o el sólido que lo origina a determinada temperatura.

1.3.9 Piano: Sigla con las iniciales de los compuestos que se determinan en el análisis: Parafinas, Isoparafinas, Aromáticos, Naftenos, Olefinas y/o Oxigenados.

1.3.10 Número de ácido: La cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra que se requieren para titular la muestra en un solvente específico hasta un punto final específico.

1.3.11 Contenido de agua por destilación en hidrocarburos: Es importante conocer del contenido de agua de los derivados del petróleo en el proceso de refinación, compra, venta y transferencia de productos. La cantidad permitida de agua se puede especificar en los contratos.

1.3.12 Cromatografía de gases: Es un método de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

1.3.13 Azufre: Es un elemento químico de número atómico 16 y símbolo **S**. Es un no metal abundante e insípido, La calidad de muchos productos del petróleo está relacionada con la cantidad de azufre presente. El conocimiento de las concentraciones de azufre es necesario para propósitos de procesamiento.

1.3.14 Compuestos Fenólicos: Derivados de hidróxidos de Benceno y su núcleo condensado.

1.3.15 Conductividad y resistividad en el agua: La medida cuantitativa de constituyentes iónicos disueltos en agua.

1.3.16 PH del agua: Es un parámetro crítico que afecta la solubilidad de trazas de minerales, la habilidad del agua para formar escama o para causar corrosión metálica, y la aptitud del agua para sostener organismos vivos.

1.3.17 Reacción al agua de los combustibles de aviación: Es una indicación de contaminantes parcialmente solubles, tales como sulfatantes. Los contaminantes que afectan la interfase son capaces de desactivar rápidamente los filtros separadores y permiten el paso de partículas y agua libre.

1.3.18 Sal en crudo: Este método de ensayo se usa para determinar el contenido de sal en los crudos, contenidos excesivos de sal producen altas velocidades de corrosión en las unidades de refinación y envenenamiento de los catalizadores, en procesos aguas abajo.

1.3.19 Contenido de gomas en combustible: Las gomas son definidas como un material polímero que puede ser disuelto en agua para dar consistencia y gelatinizar. También son conocidas como coloides.

1.3.20 Insolubles en n-Heptano: Este método de ensayo es útil para cuantificar el contenido de asfaltenos en asfaltos del petróleo, gasóleos, combustóleos pesados y crudos. El contenido de asfaltenos se define como aquellos componentes no solubles en n-heptano.

1.3.21 Corrosión lamina de cobre: Los límites de la corrosión de cobre aseguran que no se presentarán dificultades por deterioro de los accesorios y conexiones de cobre y sus aleaciones, usados comúnmente en muchos tipos de equipos de almacenamiento y transporte.

1.3.22 Destilación: Es la operación de separar, comúnmente mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias a separar.

1.3.23 La gravedad API: De sus siglas en inglés *American Petroleum Institute*, es una medida de densidad que describe cuán pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua.

1.3.24 Penetración: El ensayo de penetración se usa como una medida de la consistencia. Altos valores de penetración indican una consistencia blanda.

1.3.25 Olefinas: Es un compuesto que presenta al menos un doble enlace Carbono-Carbono. Se ha demostrado que los hidrocarburos olefínicos en el rango de las gasolinas contribuyen a las reacciones fotoquímicas en la atmósfera, la cual resulta en la formación de humo fotoquímico expuesto en áreas urbanas.

1.3.26 Gasolina motor corriente y extra: La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido a chispa.

1.3.27 ACPM o Diesel: Es el combustible utilizado en los motores Diesel, de uso común en camiones y buses, en plantas de generación eléctrica y en embarcaciones marinas.

El diesel o el aceite combustible para motores (ACPM), es un destilado medio obtenido de la destilación atmosférica del petróleo crudo. Su calidad de ignición se caracteriza por el índice de Cetano o por el Número de Cetano.

1.3.28 Jet A-1 (Turbocombustible o turbosina): Son destilados del petróleo y Combustible para aviones con turbinas o tipo jet.

1.3.29 Combustóleo o Fuel-Oil: Es un combustible pesado para hornos, secadores, calderas, calentadores y generación eléctrica.

1.3.30 Queroseno: Combustible destilado medio obtenido de la destilación del petróleo se utiliza en estufas domésticas, quemadores de hornos y secadores industriales.

1.3.31 IFO: Combustible para buquetanques y plantas de generación eléctrica.

1.3.32 Gas licuado del Petróleo - GLP: Combustible para el uso en gasodomésticos; hornos, secadores y calderas industriales y generación de energía eléctrica.

1.3.33 Alquitrán aromático (Arotar): Materia prima para la elaboración de negro de humo para la industria de llantas.

1.3.34 Disolventes alifáticos: Se utilizan en la extracción de aceites vegetales, fabricación de pinturas, pegantes, thinner, tintas, productos agrícolas, disolución de caucho, fabricación de ceras y betunes, y para la limpieza en general.

1.3.35 Azufre: El azufre que sale de las refinerías sirve para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación de ácido sulfúrico.

1.3.36 Disolvente aromático: Se usa en la fabricación de ciclohexano, estireno, pinturas, resinas, thinner y tintas, insecticidas.

1.3.37 Asfaltos: Se utilizan en la construcción y conservación de vías: emulsiones asfálticas, asfaltos líquidos o cementos asfálticos.

1.3.38 Bases lubricantes: Son la materia prima para la producción de aceites y grasas lubricantes de uso automotor e industrial. Las bases lubricantes pueden ser parafínicas (aceite de alta viscosidad) o nafténicas (lubricantes para bajas temperaturas).

1.3.39 Parafinas: Materia prima para las velas, ceras para piso, papeles parafinados, fósforos, vaselinas y recubrimiento de alimentos.

1.3.40 Planta de Crudo Unidad de destilación combinada: El primer paso en el refinamiento del petróleo es la separación del crudo en varias fracciones o “cortes” usando las torres de destilación atmosférica y la torre de vacío. Las fracciones o cortes obtenidos durante este proceso se obtienen gracias a los diferentes rangos de ebullición. Los rangos pueden ser clasificados basándose en una disminución de volatilidad de los gases destilados ligeros, destilados medios, gases líquidos y residuos.

La segunda etapa del proceso es la destilación al vacío. En esta etapa, el crudo reducido pasa por unos hornos donde se calientan para luego fraccionarse en la torre de vacío. De esta manera se recuperan los gasóleos liviano y pesado. El producto de fondos o residuo pesado es enviado como carga a la Unidad Viscorredutora para mayor aprovechamiento. Los gasóleos producidos en crudo sirven como materia prima a la Unidad de *Cracking* Catalítico.

1.3.41 Planta de Viscorredutora: Es el proceso por el cual una carga pesada compuesta por hidrocarburos pesados de cadenas largas se descompone parcialmente en otras cadenas de hidrocarburos de menor y mayor peso molecular (condensación) con relación a la carga original. Esto sucede mediante una reacción de craqueo térmico con reacciones secundarias de condensación. Este proceso recibe su energía del horno de viscorreducción. Su resultante son los niveles de conversión que determinan el paso de la carga a fracciones de nafta, queroseno y gasóleo (destilados).

1.3.42 Planta de Cracking Unidad de ruptura catalítica: Cracking es un proceso de refinación por el cual varios gasóleos son separados (craqueados) en compuestos de hidrocarburos más simples por medio de el uso de calor extremo, presión y a la exposición de químicos catalíticos.

Esencialmente, este proceso cambia las cadenas largas de las moléculas de hidrocarburos (menos valor) hacia cadenas más pequeñas las cuales aumentan en valor para producir gasolinas de alto octanaje, aceites combustibles livianos y gases ricos en olefinas.

1.3.43 Sección de Productos Livianos: Su función de la unidad es recuperar lo máximo de carga a polimerización y de gasolina liviana. Quedando un gas combustible con bajo contenido de C3S y C4S.

Los gases y el destilado de baja presión, provenientes de la Unidad de Ruptura Catalítica son llevados a un proceso de absorción, donde se saca una gasolina liviana mezclada con C3S y C4S.

Finalmente, ésta es llevada a una destilación donde se obtiene una corriente rica en propano, butano y oleofinas que van como carga a Polimerización y una gasolina liviana debutanizada a almacenamiento.

1.3.44 Planta de Polimerización: Esta unidad une las moléculas pequeñas de oleofinas para formar moléculas más grandes - gasolina-. El proceso es una reacción que se produce en presencia de un catalizador de ácido ortofosfórico, el cual es selectivo sólo a los hidrocarburos insaturados y produce gasolina de alto octanaje. Los gases que no reaccionan, hidrocarburos saturados, es lo que comúnmente se conoce como combustible doméstico o gas licuado del petróleo (G.L.P.).

1.3.45 Planta de Amina: Esta Unidad de purificación de gases, tiene como función tomar la corriente y despojarla de un gas agrio, como es el H₂S.

Esta operación se hace por medio de un compuesto llamado monoetanolamina (MEA), el cual tiene la propiedad de atrapar el H₂S cuando está fría y liberarlo cuando se calienta. El H₂S liberado es enviado a la Unidad de Azufre y, los gases combustibles, devueltos al proceso.

1.3.46 Planta de Tratamiento: Las impurezas presentes en los petróleos crudos, así como las que se originan durante las operaciones de destilación de craqueo catalítico y térmico, deben ser eliminadas casi en su totalidad de los productos antes de comercializarlos. El tratamiento químico que se hace a los productos en esta Planta permite mejorar su color, olor, contenido y/o interacción con el agua, contenido de azufre, proporción de sustancias gomosas y corrosión.

1.3.47 Planta Eléctrica: Produce los servicios que la Refinería requiere para las unidades de proceso, como son: agua, vapor, electricidad, aire y gas combustible. En los cuatro primeros, el Distrito se autoabastece y el último se complementa con la compra de gas natural.

1.3.48 Planta de Elementos Externos Materias primas y productos: Esta unidad es la encargada de recibir el crudo vía Oleoducto Coveñas - Cartagena, carga a la Unidad de Destilación Combinada, así como el manejo de las corrientes de productos provenientes de las diferentes unidades, con el fin de almacenarlos dentro de especificaciones, y asegurar el inventario necesario para el normal abastecimiento de combustibles a la Zona Norte del País.

Para lograr su objetivo, cuenta con sistemas apropiados que realizan ventas locales de combustibles, así como las entregas vía poliducto, a la ciudad de Barranquilla.

De otra parte, posee dos muelles marítimos por donde se realizan principalmente exportaciones de ACPM y combustóleo - segundo renglón de exportaciones del país - y se cabotean los excedentes de gasolina hacia el interior del país a través del oleoducto de Santa Marta a Barrancabermeja.

1.3.49 Downstream: Es el macro proceso encargado de producir, comercializar y suministrar productos refinados, petroquímicos y servicios de transporte a los clientes de acuerdo con los objetivos, políticas, planes, programas y proyectos de Ecopetrol S.A

1.3.50 Upstream: Es el macro proceso encargado de producir hidrocarburos de Ecopetrol S.A.

1.3.51 SILAB: Sistema de Información de Laboratorio. Software especialmente diseñado para ECOPETROL S.A. Administra toda la información de los análisis y de los equipos del dominio del laboratorio de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

1.3.52 Metales: se denomina a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio y el galio); sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución.

1.3.53 Severidad (S): La severidad de los efectos potenciales de falla se evalúa en una escala del 1 al 10 y representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido. La severidad solo se refiere o se aplica al efecto.

1.3.54 Modo potencial de falla: es la manera en que el proceso (sistema, componente) podría potencialmente fallar en el cumplimiento de requerimientos. En esta etapa se

deben anotar todos los modos potenciales de falla, sin tomar en cuenta la probabilidad de su ocurrencia.

1.3.55 Efectos de la falla potencial: se definen como los efectos del modo de falla, este efecto negativo puede darse en el proceso mismo, sobre una operación posterior o el cliente final.

1.3.56 Ocurrencia (O): estimar la frecuencia con la que se espera ocurra la falla debido a cada una de las causas potenciales listadas antes (¿qué tan frecuente se activa tal mecanismo de falla?). La posibilidad de que ocurra cada causa potencial (que se active el mecanismo de falla), se estima en una escala del 1 al 10. Si hay registros estadísticos adecuados, éstos deben utilizarse para asignar un número a la frecuencia de ocurrencia de la falla.

1.3.57 Número de prioridad del riesgo (NPR): calcular el NPR para efecto-causas-controles, que es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad del efecto de falla, por las probabilidades de ocurrencia para cada causa de falla, y por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten cada causa de falla. Es decir, para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2. RESEÑA HISTORICA

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines, conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus estatutos, salvo excepciones consagradas en la ley (Decreto 1209 de 1994).

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles.

Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo.

En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 4832 del 31 de octubre de 2005, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá D.C., y aclarada por la Escritura Pública número 5773 del 23 de diciembre de 2005.

Actualmente Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.¹⁷

Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos).

¹⁷ http://www.ecopetrol.com.co/documentos/38400_Estatutos_Sociales_de_Ecopetrol_S_A_-_actualizados_reforma_estatutaria_06-11-2007.pdf

A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial.

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$11,63 billones registrada en 2008 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 37 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica.¹⁸

Gracias a sus fortalezas y competencias, Ecopetrol S.A. es líder en Colombia y el socio preferido para explorar y producir hidrocarburos.

Ecopetrol para cumplir con la demanda Nacional e Internacional, cuenta con campos de extracción de hidrocarburos en el Norte, centro, y sur de Colombia, dos Refinerías ubicadas estratégicamente para la depuración de sus productos (Refinería Barrancabermeja y Refinería de Cartagena), puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.500 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

La Refinería de Cartagena, atiende la demanda de combustibles derivados del petróleo en la región norte del país, de gasolina regular y de ACPM (Aceite Combustible para Motor) del occidente colombiano así como de GLP (Gases Licuados del Petróleo) del interior del país, y maneja casi la totalidad de las exportaciones de productos de Ecopetrol S.A. hacia los mercados del Caribe, Norte y Sur América, así como Europa y Asia.

¹⁸ <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&conID=36271>

Ecopetrol S.A se encuentra comprometida en mantener la calidad de sus productos y en satisfacer las necesidades de sus clientes, y como prueba de ello, ha sido certificada desde el año 2000 en cada uno de sus procesos a nivel nacional bajo la norma ISO 9001, dando así, cumplimiento a mantener la calidad de sus productos a nivel nacional e internacional.

Para el control operacional de los productos en proceso y terminados ECOPETROL S.A cuenta con un área que mide, examina, ensaya, calibra y determina las características y/o el desempeño de materiales o productos en proceso y terminados.

Esta área de la refinería de Cartagena se conoce como **COORDINACION DE INSPECCIÓN DE CALIDAD**, comúnmente conocido en la refinería de Cartagena como Laboratorio, el cual será el objeto de estudio. Este se encuentra ubicado organizacionalmente en la estructura jerárquica de ECOPETROL, reglamentada mediante Decreto 1760 de 2003 y Decreto 2394 de 2003 (ver figura 2.2)

La Coordinación Inspección de Calidad es un área que apoya técnicamente a las diferentes unidades de proceso y servicios industriales del Distrito. En ésta, se realizan análisis físico químicos de inspección y control a productos combustibles derivados del Petróleo para garantizar la integridad de estos productos y la satisfacción de sus clientes.

La Coordinación Inspección de Calidad de la refinería de Cartagena está acreditada desde el año 2007 bajo los requisitos generales y de competencia exigidos en la Norma Técnica Colombiana NTC/ISO/IEC 17025 versión 2005 para realizar los ensayos en el laboratorio, esta acreditación fue otorgada por la superintendencia de industria y comercio. Adicionalmente, la coordinación inspección de calidad cumple con los requisitos exigidos y está certificada bajo las normas ISO 9001, ISO 14001 e OSHA.

La Coordinación de Inspección de Calidad verifica que los diferentes productos de la Refinería de Cartagena se mantengan dentro de las especificaciones reguladas para exportaciones por normas ASTM (American Standard Testing Material)¹⁹ y en el comercio Nacional por la NTC (Normas Técnicas Colombianas)²⁰ en todas las etapas del producto y así, asegurar que éstos se entreguen conforme con los requisitos del cliente.

La refinería de Cartagena cuenta con diferentes unidades de proceso con capacidad de refinación de 80.000 barriles por día, a las cuales se le realizan diferentes análisis físico-químicos para su buen control operacional y asegurar la calidad del producto terminado y por ende la satisfacción del cliente. Las unidades operativas son:

- Planta de Destilación Combinada, UDC (atmosférica y vacío)
- Planta Viscosreductora, VR
- Planta de Ruptura Catalítica (Exxon modelo IV), URC o FCC
- Planta de Tratamiento de Productos
- Planta de Tratamiento de Agua TAE I.
- Planta de Tratamiento de Agua TAE II

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (U300)

¹⁹ Normas ASTM. Es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM

²⁰ Normas NTC. Para Colombia aplica la 1438 .Petróleo y sus derivados.

2.1 ORGANIGRAMA

2.1.1 Organigrama Estructura Ecopetrol.

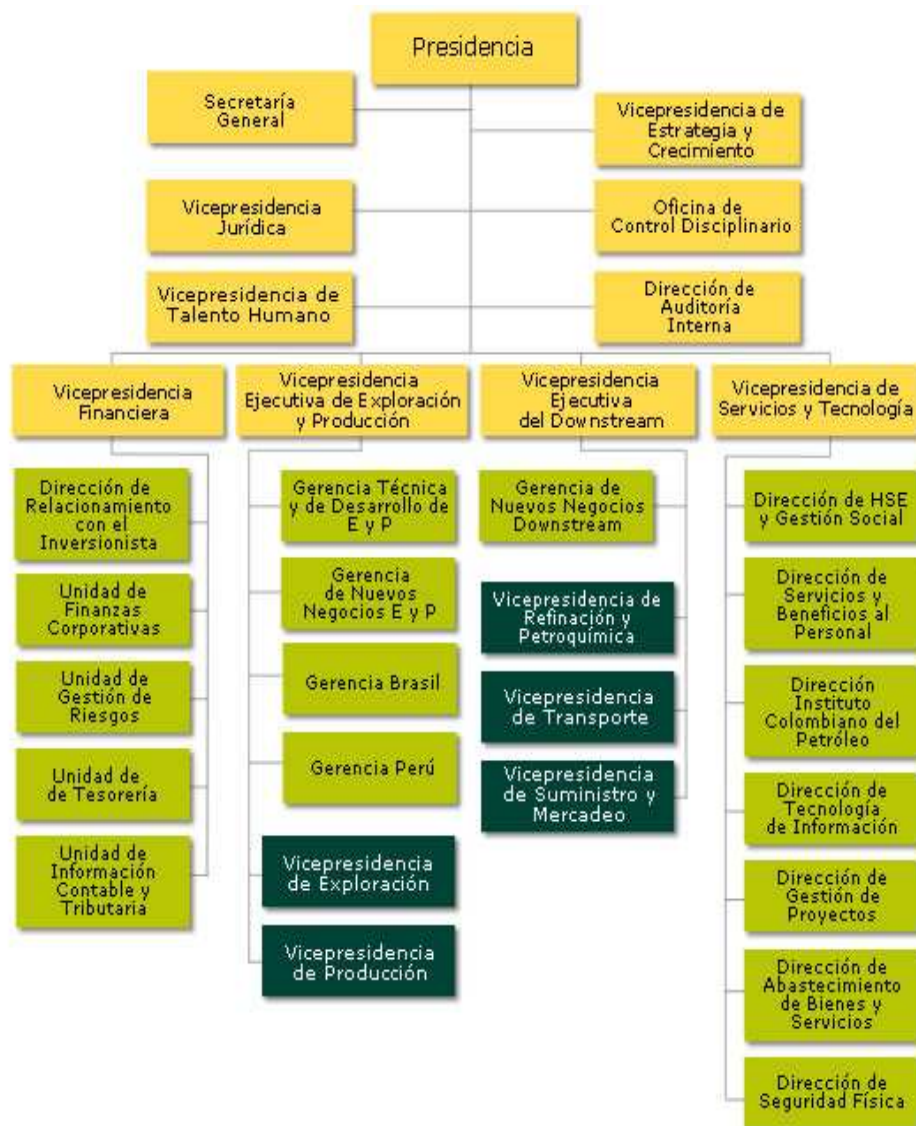


Figura 2.1.2 Estructura Organizacional ECOPETROL S.A.

Fuente. www.ecopetrol.com.co

2.1.2 Organigrama Estructura Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

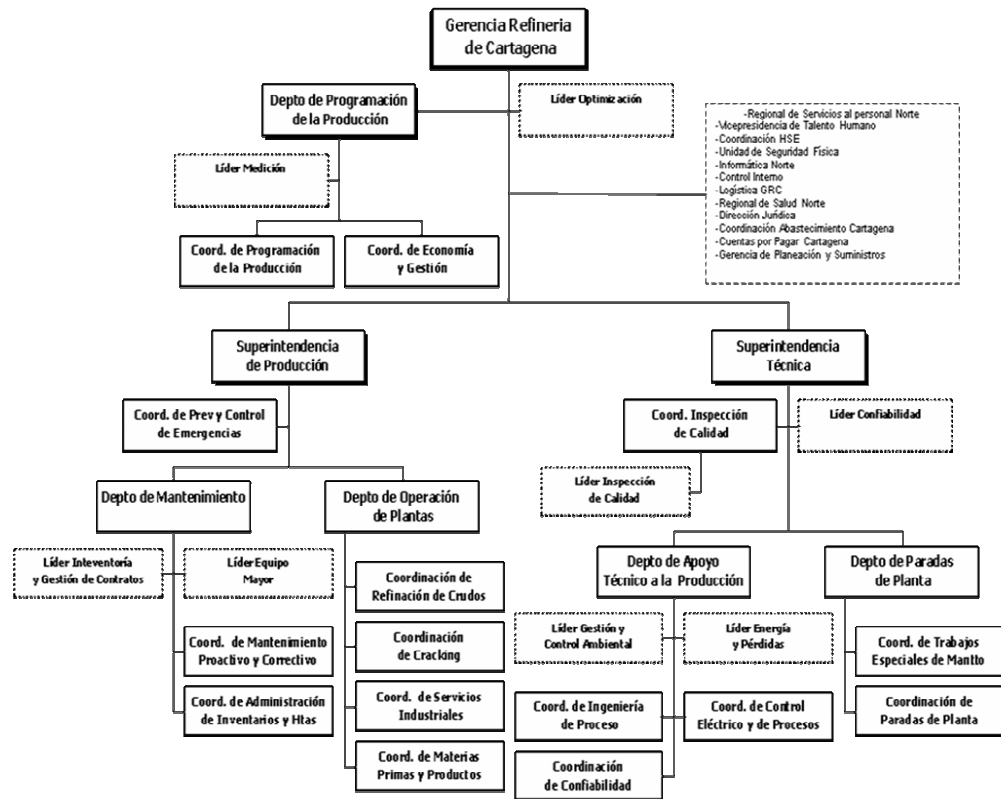


Figura 2.2 Estructura Organizacional Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente. MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD de la Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A

2.2 MISIÓN

Descubrimos fuentes de energía y las convertimos en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando el cuidado del medio ambiente, la seguridad de los procesos e integridad de las personas, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos, con personal comprometido que busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con nuestros grupos de interés.

2.3 VISION 2015

Ecopetrol será una empresa global de energía y petroquímica, con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos; reconocidos por ser competitiva, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable.

2.4 MEGAS ECOPETROL 2008-2015

2.4.1 UPSTREAM

- Producir un millón de barriles de petróleo equivalente
- Adicionar 390 Mbpe (Millones de Bariles de Petróleo Equivalente) de nuevas reservas.
- Reservas en producción de 190 Mbpe
- Comprar 80 (Mbpe) en reservas

2.4.2 DOWNSTREAM

- Ventas de 1.100 GTBUD (Giga BTU por día)
- Capacidad de refinación de 650 (KBD)
- Petroquímica 2.700 (KTA)
- Transporte: ingresos por operación en nuevos negocios por 80 (MUSD)
- Diversificación energética: ventas de biocombustibles por 450 (KTA).

2.5 MAPA DE PROCESO DE ECOPETROL S.A.

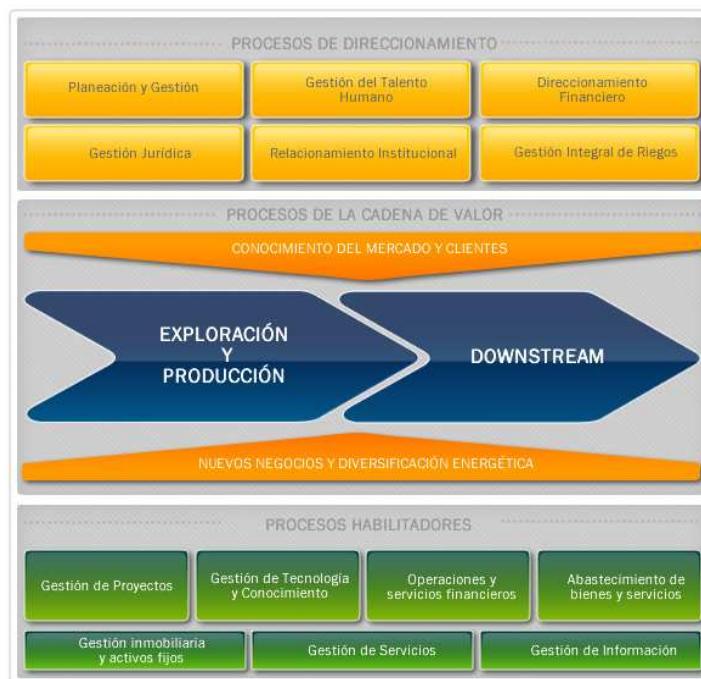


Figura 2.3 Mapa De Procesos ECOPETROL S.A.

Fuente. www.ecopetrol.com.co

2.6 MAPA DE PROCESOS REFINERIA DE ECOPETROL CARTAGENA

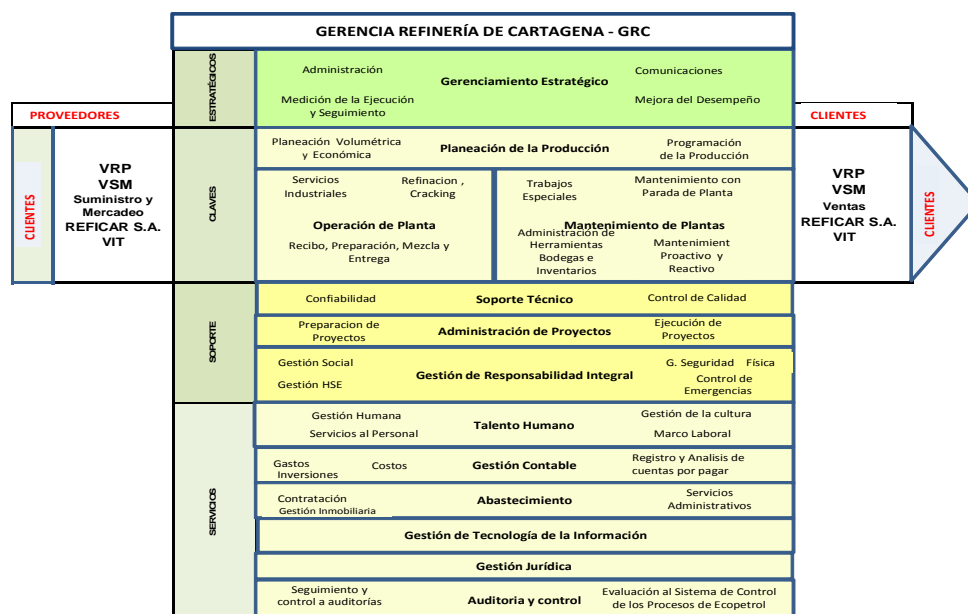


Figura 2.4 Mapa De Procesos ECOPETROL S.A.

Fuente. MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD de la Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A

2.7 VALORES CORPORATIVOS

2.7.1 POLITICAS DE CALIDAD Y SEGURIDAD

En Ecopetrol S.A. se asegura la entrega de los productos y servicios que satisfacen y cumplen los requisitos acordados con los clientes, a través del mejoramiento continuo de los procesos y competencias de nuestra gente, orientando la gestión a la satisfacción del cliente.

2.7.2 OBJETIVOS DE CALIDAD DE ECOPETROL S.A.

OBJETIVOS	INDICADORES
Ser la mejor opción de suministro y de transporte de hidrocarburos en los mercados objetivo.	EFICACIA <ul style="list-style-type: none">Índice de satisfacción del Cliente
Maximizar el valor de los servicios y productos para el cliente.	Entregas Perfectas a Clientes Finales
Operar con excelencia la cadena de valor.	EFICIENCIA <ul style="list-style-type: none">Costo de levantamientoCostos operativos totales de refinaciónCosto de transporteCosto de Hallazgo
Ser la mejor opción de suministro y de transporte de hidrocarburos en los mercados objetivo.	EFFECTIVIDAD <ul style="list-style-type: none">Ventas Nacionales

Cuadro 2.1 Objetivos de calidad de ECOPETROL S.A.

Fuente. www.ecopetrol.com.co

2.7.3 POLÍTICA DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL

En ECOPETROL actuamos dentro de un marco de responsabilidad, integridad y respeto por las personas, las instituciones y el medio ambiente, promoviendo una mejora continua que genere condiciones de desarrollo sostenible y valor para nuestros grupos de interés. Nuestro instrumento preferido es la prevención y promoción. La vida de seres humanos y la protección del medio ambiente priman sobre toda actividad de la empresa.

Somos responsables, íntegros y respetuosos cuando:

- Cumplimos con las disposiciones legales vigentes.
- Interactuamos con nuestros grupos de interés en búsqueda de una relación armónica y de mutuo beneficio.

En Gestión Social somos responsables, respetuosos e íntegros cuando:

- Identificamos las oportunidades, impactos y riesgos de la relación entre la Empresa, las comunidades de sus áreas de influencia y sus autoridades locales y los gestionamos de manera efectiva.
- Contribuimos al desarrollo de las comunidades vecinas.

En Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional somos responsables, respetuosos e íntegros cuando:

- Aseguramos un ambiente de trabajo sano, limpio y seguro.
- Trabajamos en la prevención de riesgos que puedan repercutir en lesiones y daños para la salud de los trabajadores
- Prevenimos los impactos ambientales negativos de nuestra actividad.
- Potencializamos los impactos positivos de nuestra actividad.
- Nos preparamos para responder de forma rápida y efectiva a las situaciones de emergencia que puedan resultar de las operaciones de la empresa.

En Seguridad Física somos respetuosos, responsables e íntegros cuando:

- Actuamos con transparencia.
- Respetamos y promovemos los Derechos Humanos
- Apoyamos a la Fuerza Pública en sus iniciativas de respeto a los Derechos Humanos y el Derecho Internacional Humanitario.
- Exigimos a nuestros contratistas actuación respetuosa de los Derechos Humanos.
- Protegemos la vida e integridad de los trabajadores.
- Aseguramos la integridad de las instalaciones, bienes e intereses de la empresa.

3. ETAPA DEFINIR

La metodología Six Sigma consta de cinco etapas como bien se ha mencionado anteriormente: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, conocidas por sus siglas en inglés DMAIC.

El principal objeto de esta primera etapa, es identificar los factores o variables que mayor impactan al problema.

3.1 EVIDENCIA DEL PROBLEMA

Antes de seleccionar el problema de mayor impacto en el nivel de incumplimiento de los análisis físico químicos, se realizó un análisis detallado de todas las posibles causas relacionadas a la Coordinación de Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.; mediante una serie de reportes y evidencias que fueron extraídas del sistema de información y manejo de datos del laboratorio SILAB y luego analizadas para la plena identificación del problema objeto estudio del proyecto.

3.2 REPORTE DE FALLAS EXTERNAS

Durante el periodo objeto de estudio enero de 2006 a febrero de 2009, no se evidencian reclamos de calidad por característica intrínsecas en los diferentes productos vendidos y entregados en dicho tiempo. Esta información se obtuvo del Proceso de Mercadeo y Ventas de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Por otro lado, se evidencian reclamos de otro tipo con los clientes externos, que no están asociados al problema de estudio, pero que merecen la pena expresarlos:

TABLA DE RECLAMOS DE CLIENTES EXTERNOS REFINERIA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. Periodo Enero 2006 Febrero 2009		
CLIENTES	Numero de Reclamos	%
EXXON MOBIL	83	31,7
CHEVRON	64	24,4
GASAN	33	12,6
PROXXON	33	12,6
PETROMIL	12	4,6
Corporación Petrolera	8	3,1
PORTAGAS	6	2,3
Petrocomercial	5	1,9
PETROBRAS	2	0,8
PETROCOSTA	2	0,8
C.I. VANOIL	2	0,8
INTERGAS	2	0,8
C.I. Internacional F.oil	2	0,8
CARTAGAS	2	0,8
PETROMIL	1	0,4
P. QUIM PANAMERICANOS	1	0,4
AREDA	1	0,4
Ecospetroleo	1	0,4
PETROCOSTA	1	0,4
MARINE OIL	1	0,4
TOTAL	262	100

Tabla No.3.1 Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Datos Archivo Excel clientes externos - Proceso de Mercadeo y Ventas ECOPETROL S.A.

Los clientes con mayor cantidad de reclamos en su orden son: Exxon Mobil (31.7%), CHEVRON (24,4%), GASAN (12,6%), PROXXON (12,6%).

Después de haber organizado y filtrado la información anterior, se identificaron las causas que dieron origen a tales reclamos. Las cuales se tabularon y graficaron como se evidencia a continuación:

TABLA DE CAUSAS DE RECLAMOS DE CLIENTES EXTERNOS REFINERIA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A. PERIODO DE ENERO 2006 - FEBRERO 2009		
CAUSAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
Cantidad	226	86,3
Agua	35	13,4
Precio	1	0,4
TOTAL	262	100,0

Tabla No.3.2 Causas de Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Datos Archivo Excel clientes externos - Proceso de Mercadeo y Ventas ECOPETROL S.A.

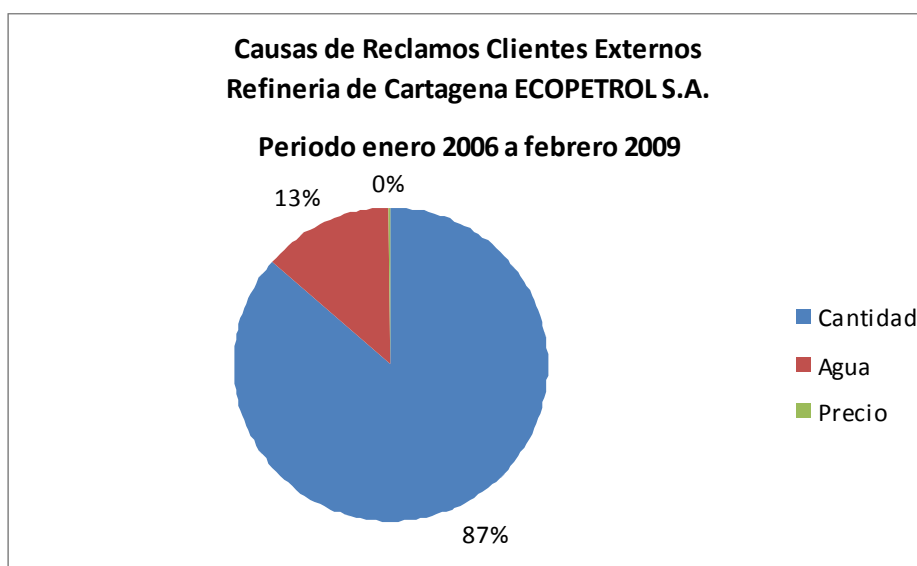


Gráfico No.3.1 Causas de Reclamos de clientes externos de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Datos de Archivo Excel clientes externos - Proceso de Mercadeo y Ventas ECOPETROL S.A.

Los datos anteriores evidencian claramente que la mayor causa de reclamos está asociada a la cantidad de producto entregado a los clientes (87%). Ésta se encuentra afectada por las desviaciones en el proceso de medición en los despachos a los diferentes clientes y en los sistemas de medición para la cuantificación del producto recibido por los mismos.

3.3 REPORTE DE FALLAS INTERNAS

En el proceso de inspección de calidad en la refinería de Cartagena Ecopetrol S.A., de acuerdo a las programaciones realizadas con el departamento de operaciones, se ha observado que no hay un cumplimiento del 100% en los análisis programados vs los ejecutados, lo cual conlleva a impactar negativamente en la calidad de los productos en procesos y terminados, pues no se tiene certeza si se está cumpliendo con todos los requisitos de calidad intrínseca de los mismos, omitiendo la toma de acciones correctivas o preventivas durante la producción, es decir, en tiempo real y de esta forma evitar producir por fuera de estándares de calidad del producto terminado e incurrir en costos de calidad por devoluciones, reproceso, costos de manejo de inventarios y otros.

En la siguiente tabla se presentan los datos del porcentaje de incumplimiento mensual de los análisis físicos - químicos planeados vs. Ejecutados en el laboratorio de la refinería de ECOPETROL Cartagena durante el período de Enero 2006 a Febrero de 2009.

EFICIENCIA MENSUAL DEL LABORATORIO (Enero 2006 - Feb 2009)				
Mes	TOTAL PLAN	TOTAL REAL	TOTAL DIF.	TOTAL % INCUMP.
ene-06	6.420	5.841	579	9,02
feb-06	5.694	5.275	419	7,36
mar-06	6.902	6.371	531	7,69
abr-06	6.203	5.841	362	5,84
may-06	7.019	6.744	275	3,92
jun-06	6.559	6.013	546	8,32
jul-06	6.431	6.003	428	6,66
ago-06	6.293	5.883	410	6,52
sep-06	6.564	6.310	254	3,87
oct-06	6.238	5.891	347	5,56
nov-06	6.190	5.937	253	4,09
dic-06	6.589	6.336	253	3,84
ene-07	6.651	6.524	127	1,91
feb-07	6.150	6.052	98	1,59
mar-07	6.635	6.449	186	2,8
abr-07	6.800	6.522	278	4,09
may-07	7.033	6.917	116	1,65
jun-07	6.363	6.027	336	5,28
jul-07	6.392	6.223	169	2,64
ago-07	7.228	7.042	186	2,57
sep-07	6.617	6.543	74	1,12
oct-07	6.335	6.166	169	2,67
Nov-207	6.133	5.944	189	3,08
dic-07	6.445	6.235	210	3,26
ene-08	6.844	6.469	375	5,48
feb-08	5.869	5.725	144	2,45
mar-08	5.946	5.818	128	2,15
abr-08	6.460	6.156	304	4,71
may-08	6.974	6.590	384	5,51
jun-08	6.560	6.392	168	2,56
jul-08	6.713	6.271	442	6,58
ago-08	7.596	7.068	528	6,95
sep-08	6.498	6.186	312	4,8
oct-08	6.484	6.333	151	2,33
nov-08	5.747	5.536	211	3,67
dic-08	6.343	5.931	412	6,5
ene-09	6.065	5.198	867	14,3
feb-09	5.341	3.672	1.669	31,25
Promedio	245.324	232.434	12.890	5,38

Tabla No 3.3 Indicador de Gestión del Laboratorio Análisis Programado VS Ejecutados.

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.

Con base en el indicador de gestión de la coordinación de inspección de calidad, Análisis Programados vs. Ejecutados, se observa un incumplimiento promedio de 5,38% en los últimos 3 años (enero 2006 – febrero 2009), que corresponden a 12.890 análisis dejados de realizar. Ver tabla 3.3

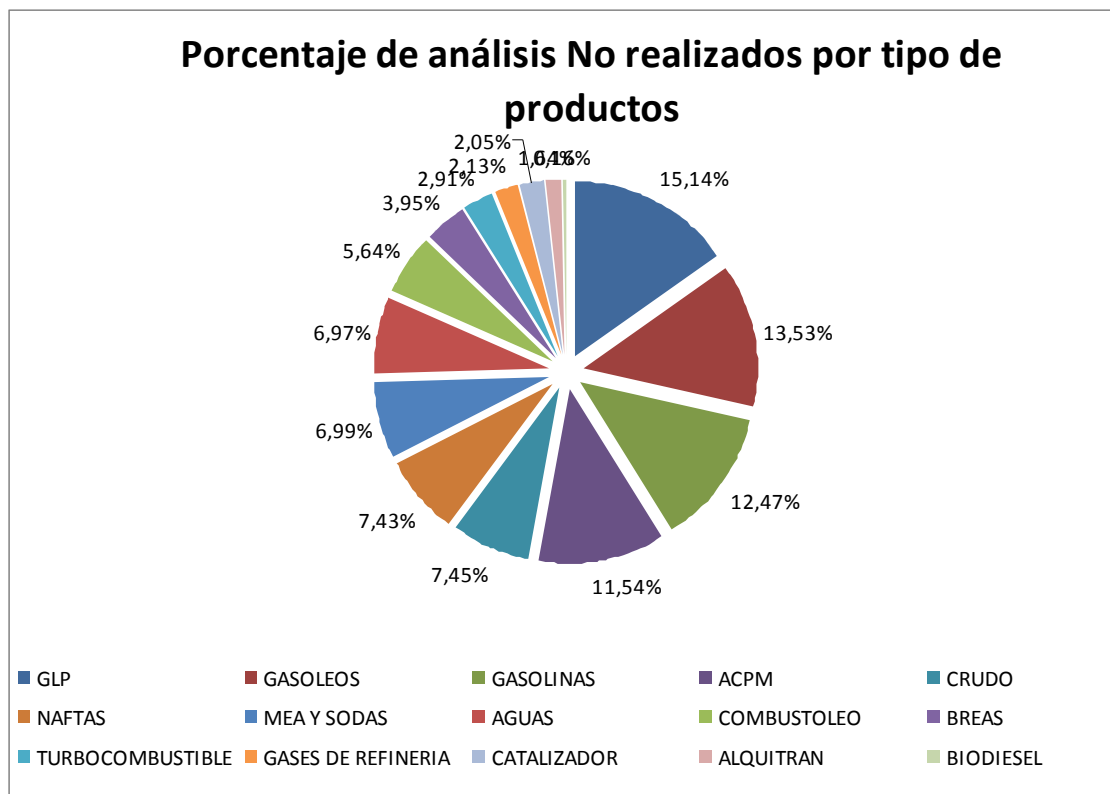
A continuación se presentan la relación de los productos a los cuales se les ha incumplido en los análisis programados.

TABLA DE FRECUENCIA. CANTIDAD DE ANÁLISIS NO REALIZADOS POR TIPO DE PRODUCTOS		
TIPO DE PRODUCTO	ANÁLISIS NO REALIZADOS	
	CANTIDAD	PORCENTAJE
GLP	1.952	15,14
GASOLEOS	1.744	13,53
GASOLINAS	1.608	12,47
ACPM	1.487	11,54
CRUDO	960	7,45
NAFTAS	958	7,43
MEA Y SODAS	901	6,99
AGUA	899	6,97
COMBUSTOLEO	727	5,64
BREAS	509	3,95
TURBOCOMBUSTIBLE	375	2,91
GASES DE REFINERIA	274	2,13
CATALIZADOR	264	2,05
ALQUITRAN	212	1,64
BIODIESEL	20	0,16
	12.890	100,00

Tabla No 3.4 Cantidad de Análisis no realizados por tipo de Productos

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.

Al graficar los datos de la tabla N° 3.4, se tiene:



Gráfica N° 3.2 Porcentajes de Cantidades de Análisis no realizados por Tipo de Productos.

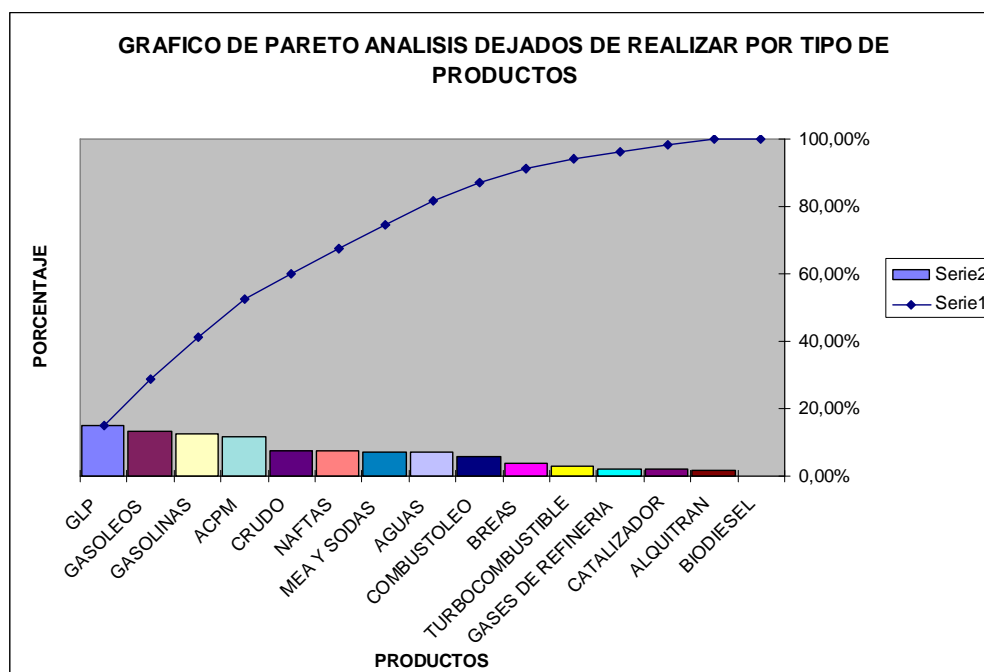
Claramente se identifica que los mayores porcentajes de los análisis dejados de realizar corresponden en su orden a los productos: GLP (Gases Licuados del Petróleo), 15,14%; Gasóleos 13,53%; Gasolinas 12,47 y ACPM 11,54%.

Con el fin de focalizar el problema de los análisis no realizados, se aplicó la metodología de Pareto, la cuál es mostrada gráficamente a continuación:

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA. CANTIDAD DE ANÁLISIS DEJADOS DE REALIZAR POR TIPO DE PRODUCTOS				
Xi	fi	Fi	hi	Hi
GLP	1.952	1.952	15,144%	15,14%
GASOLEOS	1.744	3.696	13,530%	28,67%
GASOLINAS	1.608	5.304	12,475%	41,15%
ACPM	1.487	6.791	11,536%	52,68%
CRUDO	960	7.751	7,448%	60,13%
NAFTAS	958	8.709	7,432%	67,56%
MEA Y SODAS	901	9.610	6,990%	74,55%
AGUAS	899	10.509	6,974%	81,53%
COMBUSTOLEO	727	11.236	5,640%	87,17%
BREAS	509	11.745	3,949%	91,12%
TURBOCOMBUSTIBLE	375	12.120	2,909%	94,03%
GASES DE REFINERIA	274	12.394	2,126%	96,15%
CATALIZADOR	264	12.658	2,048%	98,20%
ALQUITRAN	212	12.870	1,645%	99,84%
BIODIESEL	20	12.890	0,155%	100,00%

Tabla No 3.5 Tabla de distribución de frecuencia. Cantidad de Análisis dejados de realizar por tipo de Productos.

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.



Gráfica N° 3.3 Gráfico de Pareto. Cantidad de Análisis dejados de realizar por tipo de Productos.

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.

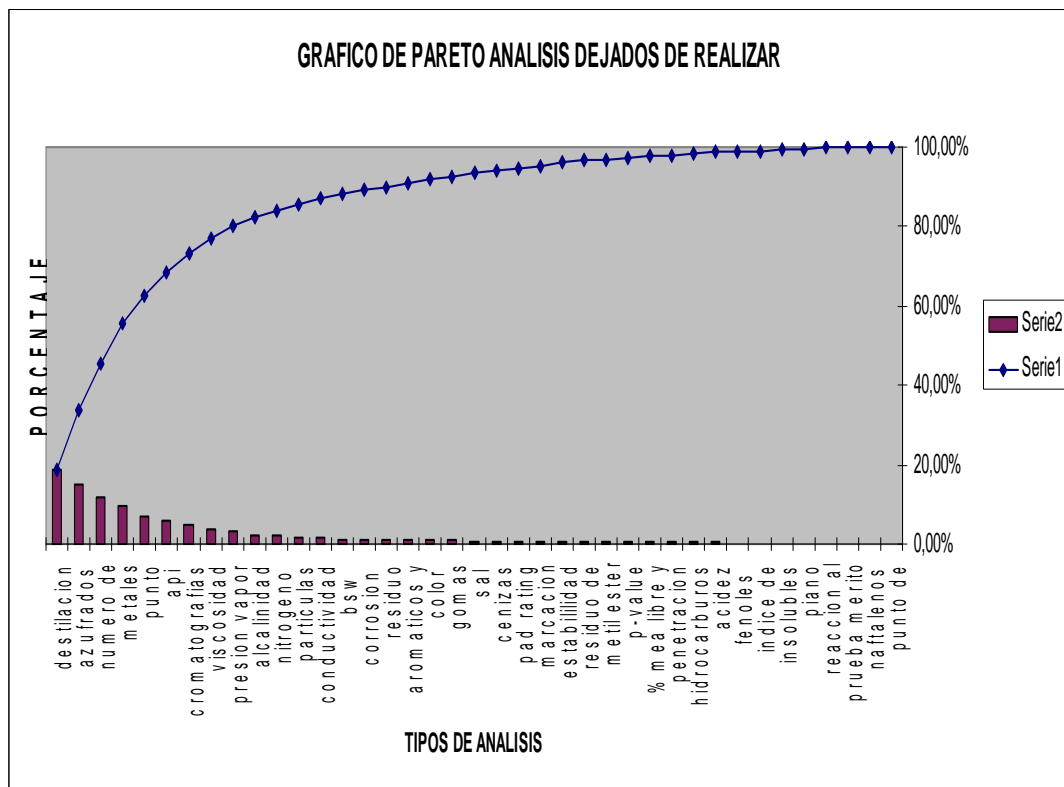
En la gráfica N° 3.3, se observa que no es posible determinar un efecto Pareto, es decir, no existen las causas “pocos vitales” que contribuyen en mayor medida al problema, debido a que no muestra claramente cuáles de todos los productos presentan el mayor impacto al incumplimiento de los análisis realizados vs. los programados.

Este hecho de no poder determinar con certeza cuales de los productos originan el mayor impacto, lleva a analizar la problemática con base en el tipo de análisis practicados a cada uno de los productos programados.

Con el fin de determinar los análisis de mayor impacto que originan el problema en los diferentes productos, se organiza y se analizan los datos en un gráfico de Pareto, que se muestra a continuación:

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA. ANÁLISIS DEJADOS DE REALIZAR REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A.				
Xi	fi	Fi	hi	Hi
DESTILACION	2.409	2.409	18,69%	18,69%
AZUFRADOS	1.957	4.366	15,18%	33,87%
NUMERO DE OCTANO	1.507	5.873	11,69%	45,56%
METALES	1.272	7.145	9,87%	55,43%
PUNTO INFLAMACION	920	8.065	7,14%	62,57%
API	744	8.809	5,77%	68,34%
CROMATOGRAFIAS	646	9.455	5,01%	73,35%
VISCOSIDAD	461	9.916	3,58%	76,93%
PRESION VAPOR	434	10.350	3,37%	80,29%
ALCALINIDAD	250	10.600	1,94%	82,23%
NITROGENO	244	10.844	1,89%	84,13%
PARTICULAS CONTAMINANTES	184	11.028	1,43%	85,55%
CONDUCTIVIDAD Y PH	183	11.211	1,42%	86,97%
BSW	147	11.358	1,14%	88,11%
CORROSION	127	11.485	0,99%	89,10%
RESIDUO	124	11.609	0,96%	90,06%
AROMATICOS Y OLEFINAS	111	11.720	0,86%	90,92%
COLOR	109	11.829	0,85%	91,77%
GOMAS	107	11.936	0,83%	92,60%
SAL	99	12.035	0,77%	93,37%
CENIZAS	98	12.133	0,76%	94,13%
PAD RATING	86	12.219	0,67%	94,79%
MARCACION	83	12.302	0,64%	95,44%
ESTABILIDAD TERMICA	77	12.379	0,60%	96,04%
RESIDUO DE CARBON	65	12.444	0,50%	96,54%
METIL ESTER	57	12.501	0,44%	96,98%
P-VALUE	57	12.558	0,44%	97,42%
%MEA LIBRE Y SODA	42	12.600	0,33%	97,75%
PENETRACION	42	12.642	0,33%	98,08%
HIDROCARBUROS EN AGUAS	40	12.682	0,31%	98,39%
ACIDEZ	36	12.718	0,28%	98,67%
FENOLES	33	12.751	0,26%	98,92%
INDICE DE CETANO	30	12.781	0,23%	99,15%
INSOLUBLES	30	12.811	0,23%	99,39%
PIANO	27	12.838	0,21%	99,60%
REACCION AL AGUA	25	12.863	0,19%	99,79%
PRUEBA MERITO	18	12.881	0,14%	99,93%
NAFTALENOS	6	12.887	0,05%	99,98%
PUNTO DE CONGELACION	3	12.890	0,02%	100,00%
	12.890		100,00%	

Tabla No 3.6 Tabla de distribución de frecuencia Análisis dejados de realizar.
Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.



Gráfica N° 3.4 Gráfico de Pareto Análisis dejados de realizar

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.

Se observa claramente el efecto Pareto al realizar este análisis. Es decir, que al examinar el 20% de los análisis se solucionan el 80% de los problemas.

De acuerdo con esta metodología, se tendrán en cuenta dentro del estudio, hasta el tipo de análisis en donde la frecuencia acumulada suma 80% aproximadamente. Los cuales corresponden en su orden: Destilación 18,69%; Azufrados 33,87%; Número de Octano 45,56%; Metales 55,43%; Punto de Inflamación 62,57%; API 68,34%; Cromatografía 73,35%; Viscosidad 76,93%; Presión de vapor 80,29%.

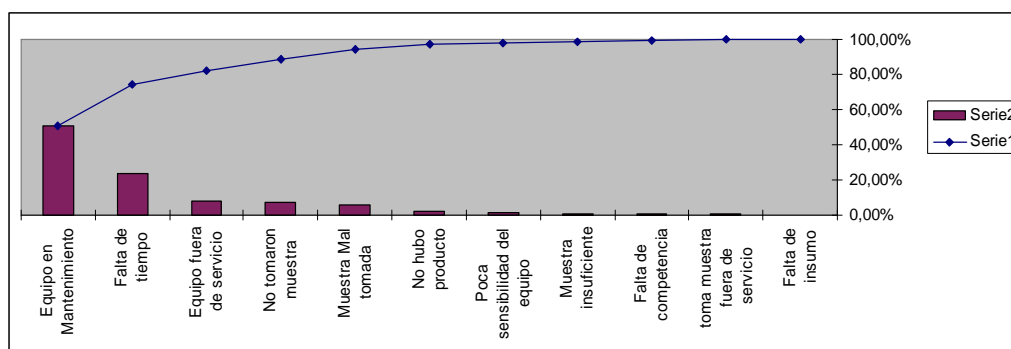
Seguidamente de haber conseguido identificar los análisis que representan la mayor cantidad de incumplimientos, el siguiente paso es definir e investigar porque se producen tantos incumplimientos de éstos en los productos y cuáles de ellos son los factores más representativos de todos.

Mediante la aplicación de las herramientas estadísticas, Tabla de frecuencia y gráfica de Pareto a los datos debidamente obtenidos y organizados del software SILAB, Sistema de información y manejo de datos del laboratorio de ECOPETROL S.A. determinaremos las causas asignables de la no realización de los análisis programados.

TABLA FRECUENCIA. CAUSAS ASIGNABLES DE LA NO REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A.				
Xi	fi	Fi	hi	Hi
Equipo en Mantenimiento	6.547	6.547	50,79%	50,79%
Falta de tiempo	3.088	9.635	23,96%	74,75%
Equipo fuera de servicio	911	10.546	7,07%	81,82%
No tomaron muestra	886	11.432	6,87%	88,69%
Muestra Mal tomada	743	12.175	5,76%	94,45%
No hubo producto	314	12.489	2,44%	96,89%
Poca sensibilidad del equipo	143	12.632	1,11%	98,00%
Muestra insuficiente	86	12.718	0,67%	98,67%
Falta de competencia	86	12.804	0,67%	99,33%
toma muestra fuera de servicio	57	12.861	0,44%	99,78%
Falta de insumo	29	12.890	0,22%	100,00%
TOTAL	12.890		100,00%	

Tabla No 3.7 Tabla de distribución de frecuencia. Causas asignables de la no realización de los análisis Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.



Gráfica N° 3.5 Gráfico de Pareto. Causas asignables de la no realización de los análisis Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Autores del Taller Integrador. Datos Software SILAB ECOPETROL S.A.

De este análisis se puede concluir que de las diferentes causas estudiadas en el proceso de Coordinación Inspección de Calidad de la empresa a nivel interno, se ha

determinado como el objeto de estudio de este proyecto que las variables que mayor impactan al problema del no cumplimiento de los análisis programados son la intervención de actividades de mantenimiento a la que están siendo sometidos los equipos, (equipos fuera de servicio) y la poca disponibilidad de tiempo del personal para la ejecución de los análisis; debido a tres factores de mucha relevancia como son la frecuencia de ocurrencia de la falla, la criticidad que representa esta falla en los productos y el impacto económico que está generando en la empresa.

Finalmente, luego de haber definido los problemas a analizar, se presenta el cuadro de proyecto en el cual se describe el contenido, el objetivo, el alcance y los responsables del proyecto.



ENERGÍA PARA EL FUTURO

CUADRO DE PROYECTO DMAIC REFINERÍA DE CARTAGENA ECOPETROL S.A.

Título del Proyecto: GESTIÓN DE LA MEJORA EN EL PROCESO COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	
Jefe de Proyecto: Ing. Nicodemus Fernández - Coordinador Inspección de Calidad	Miembros del equipo: Rinaldy Garcés León Renaldo Paz Márquez Reinaldo Villanueva Porto Jorge Cordoba Pedro Segrera
Caso de Negocio: La Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., tiene un nivel de incumplimiento en los análisis físico químicos en los productos en proceso y en productos terminados, lo cual impacta de forma negativa la calidad de los mismos	
Declaración del Problema: La Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., tiene un nivel de incumplimiento en los análisis físico químicos en los productos en proceso y en productos terminados, atribuidos por los equipos que están siendo intervenidos por actividades de mantenimiento, y la poca disponibilidad de tiempo del personal del laboratorio, lo cual representa altos costos de calidad. Adicionalmente, En el actual ambiente competitivo mundial del sector de hidrocarburos, la globalización de los mercados ha exigido a las refinerías de este sector adoptar medidas eficaces, efectivas, y de reducir al máximo los costos de calidad. Convirtiéndolas en organizaciones dinámicas para lograr mayor rentabilidad, permanencia en el mercado.	Declaración del Objetivo: Identificar la causa Raíz que genera los no cumplimientos de los análisis físicos químicos en los productos en proceso y terminados, para luego proponer alternativas de mejoras para la reducción y control de la variable en estudio, logrando una mayor productividad y eficiencia en el proceso de Coordinación Inspección de calidad e la refinería de Cartagena
Alcance: Durante el proyecto, el equipo desarrollará la metodología DAMIC de la filosofía Six Sigma, en sus primeras cuatro etapas. Definir, Medir, Analizar, Mejorar. No se tiene dispuesto inversiones algunas para compra de equipos y materiales para el desarrollo de la investigación de la gestión de mejora. Se propondrán acciones correctivas y posibles soluciones a la problemática en estudio	Partes Interesadas: Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A. Coordinación Inspección de Calidad Miembros taller Integrador

Cuadro 3.1 Cuadro de Proyecto DMAIC Refinería De Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Autores del Taller Integrador.

4. ETAPA MEDIR

4.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Se requiere de un análisis que permita identificar las causas fundamentales del no cumplimiento de los análisis físico químicos en los productos en proceso y terminados dentro del proceso de Coordinación Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A., para cumplir con el propósito de esta investigación.

La medición requerida en esta etapa de la metodología DMAIC, se encuentra fundamentalmente apoyada en la información contenida en el software **SILAB**, que es la base de datos que maneja y administra todo el sistema de información y datos del laboratorio de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Este software SILAB versión 5.1 con servidor de datos Oracle v8.1.7 y servidor de aplicaciones Unix, Oracle forms and reports, cliente/servidor elaborado por Applied Biosystems SQL*LIMS v5, tiene las características particulares o propias de cualquier instrumento de medición estadístico y diseño de muestra como confiable, representativo, de tamaño adecuado y suficiente, lo que permite emplear la información recopilada en esta base de datos para utilizarla como datos de medición de la variable del problema de incumplimiento.

La arquitectura del sistema del SILAB esta determinada así:

- **Oracle Database:** Provee almacenamiento para todos los datos y la lógica del negocio en PL/SQL nativo y Oracle JVM (Java Memory Usage).
- **Fiorano MQ:** Provee el nivel empresarial del Java Messaging Services (JMS), para comunicación con el software SQL*LIMS.

- **SQL*LIMS Bussines Logic Server:** Provee procesamiento para todas las peticiones de SQL*LIMS.
- **Oracle Application Server 10g:** Provee la administración de aplicaciones Oracle y la características SSO (Single sign on). SSO es el mecanismo de autenticación nativo para Oracle Application Server 10g release 2 y sus componentes.
- **Oracle Application Server Middle Tier: Provee la inteligencia de negocio de Oracle,** en esta capa se incluyen las formas y el servicio de reportes.
- **JInitiator:** Provee al usuario final de SQL*LIMS un plug-in que permite ejecutar las formas desde un explorador web.
- **SQL*LIMS Archiver and Administrative Utilities:** Provee administración remota del servidor de la logica de negocio de SQL*LIMS, notificación remota y herramientas de registro.

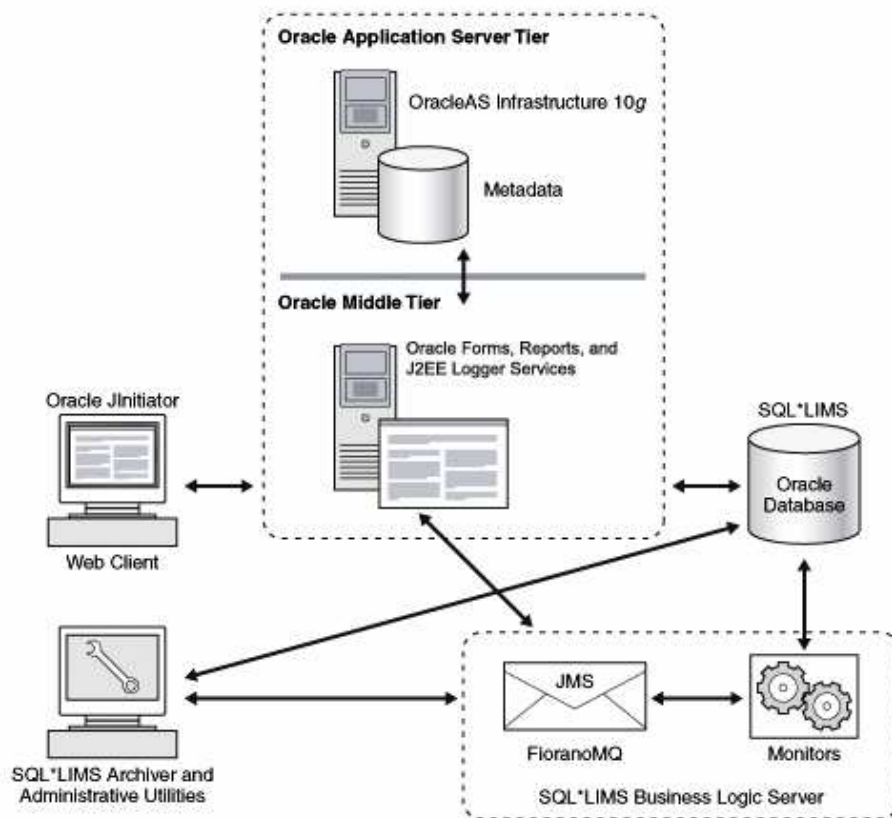


Gráfico N° 4.1 Arquitectura del sistema Software SILAB v5.1

Fuente: Archivo Paper Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Oracle Database: Servidor SunFire V445: 10.

Fiorano MQ: Servidor Windows

SQL*LIMS Bussines Logic Server: Servidor Windows

Oracle Application Server 10g: Servidor Windows

Oracle Application Server Middle Tier: Servidor Windows

JInitiator: Pc's de los usuarios

SQL*LIMS Archiver and Administrative Utilities:

Componentes del Servidor de Lógica de negocios Business Logic Server

- Procesos Background Monitores
Responsable por el procesamiento de todas las solicitudes de SQL*LIMS.

Ejemplo: Correr reportes, Crear Muestras, Ingresar Resultados, Manejo de los estados de SQL*LIMS.

- Extensión de aplicaciones SQL*LIMS

Ejemplo: Eventos programados, Eventos que se disparan.

- Fiorano MQ (JMS): Servicio de Mensajería Java usado con SQL*LIMS, suministra servicios para notificación remota y email.

En el gráfico N° 4.2 se muestra de forma esquemática como se realizan los registros de la muestra, su programación de ejecución y emisión de VoBo. requerido para cada uno de los productos durante su producción o en su etapa de despacho. Además automáticamente quedan registrados en el software de Información y datos del laboratorio *SILAB* toda la información correspondiente al análisis realizado y sus condiciones propias del producto aplicado, si se ejecuto, quién, cuándo, hora, condiciones del análisis, e informaciones adicionales en caso de que el análisis no se haya podido realizar.

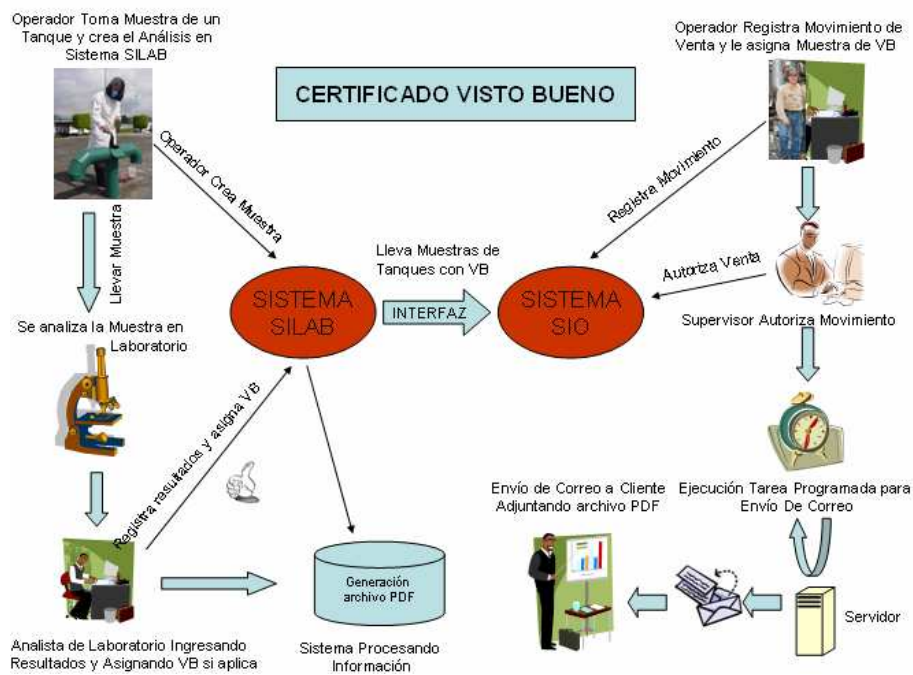


Gráfico No 4.2 Funcionalidad de VoBo Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Archivo Paper Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

4.2 CALCULO DEL NIVEL SIGMA PARA EL PROCESO DE COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD

Para establecer el nivel sigma de este proceso es necesario determinar una serie de parámetros como la cantidad de defectos, para este caso en particular, las cantidades de incumplimientos en los análisis programados y no ejecutados, entendiendo como incumplimiento todo análisis que se programo y no se realizo.

Después de culminar con la recolección de los datos del periodo de estudio Enero de 2006 a febrero de 2009, los resultados fueron los siguientes:

Total de análisis programados 245.324; Total análisis ejecutados 232.434; y Total de análisis dejados de realizar 12890, que corresponden a un 5,38% de incumplimiento. Ver Tabla 4.1

Utilizando la tabla de conversión de sigma σ (ver Tabla 4.2) e interpolando los valores se obtuvo el siguiente resultado: 3,19 σ como valor de sigma promedio en el periodo de estudio

EFICIENCIA MENSUAL DEL LABORATORIO (Enero 2006 - Feb 2009)							
Mes	TOTAL PLANEADO	TOTAL REALIZADO	TOTAL INCUMPLIDO	% DE INCUMPLIMIENTO	PORCENTAJE CUMPLIMIENTO	DPMO	NIVEL DE SIGMA
ene-06	6420	5841	579	9,02	90,98	90200	2,841
feb-06	5694	5275	419	7,36	92,64	73600	2,952
mar-06	6902	6371	531	7,69	92,31	76900	2,929
abr-06	6203	5841	362	5,84	94,16	58400	3,071
may-06	7019	6744	275	3,92	96,08	39200	3,262
jun-06	6559	6013	546	8,32	91,68	83200	2,885
jul-06	6431	6003	428	6,66	93,34	66600	3,002
ago-06	6293	5883	410	6,52	93,48	65200	3,014
sep-06	6564	6310	254	3,87	96,13	38700	3,268
oct-06	6238	5891	347	5,56	94,44	55600	3,095
nov-06	6190	5937	253	4,09	95,91	40900	3,117
dic-06	6589	6336	253	3,84	96,16	38400	3,143
ene-07	6651	6524	127	1,91	98,09	19100	3,576
feb-07	6150	6052	98	1,59	98,41	15900	3,563
mar-07	6635	6449	186	2,8	97,2	28000	3,414
abr-07	6800	6522	278	4,09	95,91	40900	3,242
may-07	7033	6917	116	1,65	98,35	16500	3,633
jun-07	6363	6027	336	5,28	94,72	52800	3,119
jul-07	6392	6223	169	2,64	97,36	26400	3,44
ago-07	7228	7042	186	2,57	97,43	25700	3,451
sep-07	6617	6543	74	1,12	98,88	11200	3,787
oct-07	6335	6166	169	2,67	97,33	26700	3,435
Nov-207	6133	5944	189	3,08	96,92	30800	3,37
dic-07	6445	6235	210	3,26	96,74	32600	3,347
ene-08	6844	6469	375	5,48	94,52	54800	3,102
feb-08	5869	5725	144	2,45	97,55	24500	3,471
mar-08	5946	5818	128	2,15	97,85	21500	3,525
abr-08	6460	6156	304	4,71	95,29	47100	3,177
may-08	6974	6590	384	5,51	94,49	55100	3,099
jun-08	6560	6392	168	2,56	97,44	25600	3,453
jul-08	6713	6271	442	6,58	93,42	65800	3,009
ago-08	7596	7068	528	6,95	93,05	69500	2,981
sep-08	6498	6186	312	4,8	95,2	48000	3,168
oct-08	6484	6333	151	2,33	97,67	23300	3,49
nov-08	5747	5536	211	3,67	96,33	36700	3,294
dic-08	6343	5931	412	6,5	93,5	65000	3,015
ene-09	6065	5198	867	14,3	85,7	143000	2,569
feb-09	5341	3672	1669	31,25	68,75	312500	1,989
Promedio	245324	232434	12890	5,38	94,61	53800	3,19

Tabla N° 4.1 Eficiencia mensual del laboratorio y Cálculo de Nivel Sigma Periodo de estudio

Fuente: Datos SILAB. Autores del Proyecto Integrador

Rendimiento (%)	NIVEL EN SIGMA	DPMO
6,68	0,00	933200
8,453	0,13	915450
10,56	0,25	894400
13,03	0,38	869700
15,87	0,50	841300
19,08	0,63	809200
22,66	0,75	773400
26,593	0,88	734050
30,85	1,00	691500
35,433	1,13	645650
40,13	1,25	598700
45,023	1,38	549750
50	1,50	500000
54,973	1,63	450250
59,87	1,75	401300
64,563	1,88	354350
69,13	2,00	308500
73,403	2,13	265950
77,34	2,25	226600
80,92	2,38	190800
84,13	2,50	158700
86,97	2,63	130300
89,44	2,75	105600
91,543	2,88	84550
93,32	3,00	66800
94,79	3,13	52100
95,99	3,25	40100
96,96	3,38	30400
97,73	3,50	22700
98,32	3,63	16800
98,78	3,75	12200
99,12	3,88	8800
99,38	4,00	6200
99,563	4,13	4350
99,7	4,25	3000
99,793	4,38	2050
99,87	4,50	1300
99,91	4,63	900
99,94	4,75	600
99,96	4,88	400
99,977	5,00	230
99,982	5,13	180
99,987	5,25	130
99,992	5,38	80
99,997	5,50	30
99,99767	5,63	23,35
99,99833	5,75	16,7
99,999	5,88	10,05
99,99966	6,00	3,4

Tabla N° 4.2 Tabla de conversión de Sigma

Fuente: <http://winred.com/management/seis-sigma-hacia-un-nuevo-paradigma-en-gestion/gmx-niv116-con2307-npc4.htm>

Con el fin de visualizar la desviación respecto al nivel sigma, se grafica el nivel determinado mensualmente y se compara contra la meta mensual actual del laboratorio 2,538 σ con un rendimiento del 85% equivalente a 150.000 DPMO. Lo que significa un objetivo poco ambicioso aun cuando se está cumpliendo con la meta de cumplimiento trazada por la Coordinación Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A. Para esto se emplea un gráfico de control.

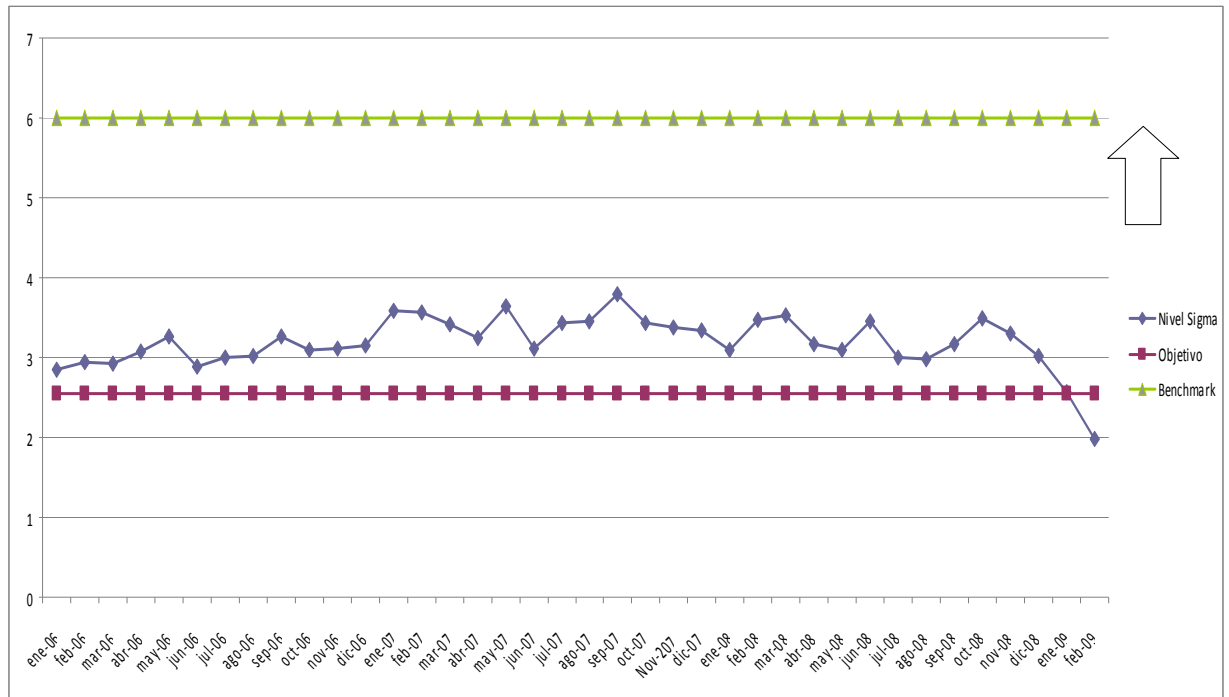


Gráfico No 4.3 Nivel de Sigma 6σ Objetivo vs. Nivel de sigma del cumplimiento actual del Laboratorio Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Fuente: Datos SILAB. Autores del Proyecto Integrador

El nivel de sigma σ calculado en el estudio, muestra el número de defectos que se esperarían si se tuviera un millón de oportunidades de defecto (DPMO).

Este nivel de sigma encontrado muestra un valor de 3,19 sigma. De la tabla 4.2 y el valor de sigma hallado, se puede determinar que el laboratorio tiene actualmente un rendimiento aproximado del 94,61%. Este sería un valor bastante atractivo a primera vista, pero al comparar con la cantidad 53.800 DPMO que se observa, y lo que esta cantidad de defectos por millón impacta en altos costos operativos y que directamente afectan negativamente la competitividad, entendiendo esta última en función de *Calidad, Productividad y Rentabilidad*. Este rendimiento calculado dista bastante del ideal de Six Sigma.

El hecho de calcular el nivel sigma inicial del proceso, es necesario para establecer un paralelo entre las condiciones iniciales y las condiciones finales, después de realizar las propuestas de mejoras.

Por razones de la delimitación del problema en el proyecto, es decir su alcance y por las características propias de objeto de estudio, esta valoración solo se lograría en la etapa de implementación y control, que muy seguramente ECOPETROL, implementará dentro de su plan Maestro de mantenimiento y Mejoramiento.

4.3 CALCULO DE LOS COSTOS DE CALIDAD

Para ECOPETROL no es relevante el costo de los análisis físico-químicos como tal, sino el impacto que produce la no realización de éstos en los productos en procesos y productos terminados y por la seguridad de los equipos rotativos.

En la tabla N° 4.3 se detallan los costos de calidad como resultado del impacto de los incumplimiento de en las características intrínsecas de calidad, no identificadas en su momento por la falta de realización de los análisis físico químicos en los productos en proceso. Asimismo en la tabla N°4.4 para los costos de calidad en los productos terminados.

ANALISIS (Costo en miles U\$/ dia) de PRODUCTOS EN PROCESO																							
PLANTA	Producto	Chispa	MSEP	Pto Congelación	% Azufre	Destilación	API	BSW	CCR	Niquel	Vanadio	P- Value	Viscosidad	Nº ECP	Prueba merito	Pto Anilina	Catalizador	RON	MON	RVP	Cromatografia	Reactor	
UDC - TTO	JET	12	12	3																			
	ACPM	60			60	60																	
	Crudo de Carga				200		6,4	6															
	HGO				2	3			4	4	4												
	GOA				2	3			4	4	4												
	LGO				2	3			4	4	4												
UVR	Carga a UVR						1,38		1,38			1,38	1,4	6									
	HGO				2	3			4	4	4												
	GOA				2	3			4	4	4												
	LGO				2	3			4	4	4												
	BREA T 202											1,5			4								
	VR Fuel Oil	10					40						40										
URC - POLI	Carga a URC				2	3			4	4	4					2	16						
	LCN				7	7												7	7	7			
	HCN				7	7												7	7	7			
	POLI				7	7												7	7	7			
	BUTANO																				10	7	
	PGR				4																4		
	Gases De Refineria																				6		

Tabla N° 4.3 Análisis de Costos de Calidad de Productos en Proceso

Fuente: Refinería de Cartagena Departamento de Economía Y Gestión

Análisis Costos de calidad (Miles U\$/ día) de PRODUCTOS TERMINADOS									
Planta	Producto	Costo por producto	Corrosión	% Azufre	Destilación	Chispa	MSEP	Pto Congelación	Cromatografía
Cargue de BTK'S	ACPM	15							
	GASOLINA RON 95	15							
	Gasolina RON 915	15							
	Nafta Virgen	15							
	Turbo combustibles	15							
	Fuel Oil	15							
	Gasoleo	15							
	Diesel Marino MGO	15							
	Propano	15							
	Butano	15							
	Arotar	15							
MPP	Propano Venta		3						
	ACPM			20	20	20			
	JET					4	4	4	
	Cabezal - Gasolina	35							
	Cabezal - ACPM	60							
Botes	Bote - ACPM	6							
	Bote - Nafta	10							
	Bote - Fuel	40							
USI	D 105								6

Tabla N° 4.4 Análisis de Costos de Calidad de Productos Terminados

Fuente: Refinería de Cartagena Departamento de Economía Y Gestión

Las pérdidas económicas totales por día en productos en procesos en la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A. están estimadas en U\$ 799.300 dólares y se muestran distribuidas en productos y análisis como lo muestra la tabla N° 4.3. De igual forma, las pérdidas económicas totales diarias en productos terminados están estimadas en U\$ 397.000 dólares, registradas en la tabla N° 4.4. Cifras totalizadas para los costos de calidad diario del orden de U\$ 1'196.300 dólares, lo que representa en una TRM promedio de \$1.918,87/U\$ un monto de \$ 2.295'544.181 pesos.

5. ETAPA ANALIZAR

El objetivo principal de esta etapa de la metodología DMAIC consiste en el uso de diferentes herramientas estadísticas para el análisis de datos y de procesos como lo son los gráficos de Pareto, gráficos de tendencia, histogramas, diagramas de causa efecto, diagramas de flujo, mapas de procesos entre otros; esto con el fin de estudiar los datos recolectados en la etapa de Medir y de esta manera poder seleccionar y verificar la causa o causas raíz del problema.

5.1 HIPÓTESIS INICIAL

Antes de empezar con el análisis de datos se enunciaran las hipótesis contempladas que el equipo de trabajo del proceso de coordinación inspección de calidad considero que son las causantes de los problemas de incumplimientos en los análisis programados vs ejecutados. Las hipótesis que se tienen son las siguientes:

- *Hipótesis 1:* La capacidad del proceso de inspección de calidad es la causa del no cumplimiento de los análisis programados vs. ejecutados en el proceso coordinación de inspección de calidad en la refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
- *Hipótesis 2:* Las fallas de los equipos del proceso de inspección de calidad son la causa del no cumplimiento de los Análisis Programados vs. Ejecutados en el proceso coordinación de inspección de calidad en la refinería de Cartagena ECOPETROL S.A
- *Hipótesis 3:* La falta de optimización de la programación de los análisis con el recurso existente del proceso de inspección de calidad es la causa del no cumplimiento de los análisis programados vs los ejecutados.

- *Hipótesis 4:* La carencia del recurso humano y de equipos del proceso de inspección de calidad es la causa del no cumplimiento de los análisis programados vs los ejecutados.

5.2 ANALISIS DE DATOS Y PROCESOS

Para poder llegar a una conclusión certera acerca de la causa o causas raíz del problema, en esta fase de analizar tanto los datos recolectados como el proceso en general serán abordados en las siguientes tres etapas:

- **Exploración:** En esta etapa se examinaron todos los datos recolectados en la fase de medir para buscar posibles causas de los problemas.
- **Generación de hipótesis:** Con base en las conclusiones obtenidas de la etapa de exploración y mediante el uso de herramientas estadísticas se generaron ideas sobre las causas de los incumplimientos de los análisis programados vs. ejecutados.
- **Selección y verificación de la(s) causa(s):** Mediante registros y herramientas estadísticas que validen los factores seleccionados y hallar la causa o causas raíz del problema.

5.2.1 ANALISIS DEL PROCESO

5.2.1.1 Fase de Exploración.

En esta etapa de la metodología se hizo uso de mapas de proceso, caracterización del proceso, confiabilidad operacional, diagramas causa efecto y diagramas de paretos, con el fin de realizar un análisis más detallado del proceso coordinación inspección de calidad y poder determinar con certeza la causa o causas que mas impactan en la generación del no cumplimiento de los análisis programados vs. ejecutados; asimismo se determina si las hipótesis planteadas por el equipo de trabajo del proyecto y que se mencionaron al inicio de esta etapa son ciertas o falsas.

Finalmente con la ayuda de todas las herramientas mencionadas anteriormente y mediante un proceso de análisis de todas las causas o efectos que puedan afectar en mayor o menor medida al problema, se seleccionará la causa o causas raíz que contribuyen de manera más significativa al problema específico del no cumplimiento de los análisis programados vs. Ejecutados en el proceso objeto de estudio.

Para inicio de la selección de la causas o causas del problema, se inicia esta fase mediante un análisis de la caracterización del proceso, organigrama, estudio de tiempo de análisis de muestras en el proceso objeto de estudio. Estas herramientas permiten analizar de manera general el proceso e identificar variables que puedan contribuir a la causa del problema en el cual se ha centrado este proyecto y considerar a partir de las mismas, propuestas de oportunidad de mejoras.

Tabla N° 5.1 Caracterización Del Proceso Coordinación Inspección De Calidad

Fuente: Sistema de gestión de calidad Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A.

5.2.1.1.1 Análisis de la caracterización del proceso

Después de haber observado y analizado la caracterización del proceso de coordinación inspección de calidad podemos darnos cuenta que cumple con los requisitos exigidos de la norma ISO 9001, en la cual se evidencia las entradas y salidas del proceso, adicional la documentación pertinente para el desarrollo de cada una de las actividades que en ella se procesan y que permiten dar cumplimiento a los lineamientos de esta norma.

Referente al problema central de estudio, se visualiza que la meta mensual del indicador de productividad del laboratorio, el cual mide los análisis ejecutados vs. los programados por los clientes es del 85%, realizando la conversión de este a nivel sigma con la tabla 4.2 tabla de conversión Sigma se obtiene un nivel de 2.538 σ , lo que significa un objetivo poco ambicioso a pesar de estar cumpliendo con la meta establecida, con este nivel le permite al proceso obtener 150.000 DPMO, equidistante a 3,4 DPMO propuesto para alcanzar el nivel 6 sigma.

5.2.1.2 Generación de Hipótesis

El enunciado anterior puede ser una de las posibles causas que genera el no cumplimiento del 100% de los análisis programados vs. Ejecutados, ya que, al cumplir la meta propuesta actualmente, el personal puede incumplir en ciertos análisis de características importantes e intrínsecas de cada producto analizado, con base en que los objetivos fueron cumplidos como indicador, restándole importancia al impacto final por costos de calidad del producto en proceso y terminado analizado dentro del proceso de calidad de Ecopetrol S.A.

Con el fin de analizar más a fondo el problema, se estudiará la distribución y capacidad del recurso humano del laboratorio y los tiempos de duración de los análisis realizados, para lo cual se iniciara con el organigrama interno del proceso coordinación Inspección de calidad que se muestra a continuación.



Figura 5.1 Organigrama Coordinación Inspección de Calidad

Fuente: Sistema de gestión de calidad Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A.

El proceso de coordinación Inspección de calidad internamente está distribuido de tal manera que cada grupo de análisis se realicen en secciones determinadas por los técnicos analistas así; Sección de Control, Analítica, Instrumental, Aguas, gases, Especiales y VoBo, de esta manera, se busca llevar control sobre la cantidad y tipos de análisis a evaluar en periodos mensuales con el fin de optimizar el recurso humano y la confiabilidad de la operación. La cantidad y tipos de análisis a evaluar son pactados de forma semestral entre el departamento de operación de planta y el proceso de coordinación inspección de calidad.

Con base al número de análisis programados en cada sección y el tiempo de duración de ejecución de los mismos, se estimo el recurso humano en horas hombre que se requieren para satisfacer cada operación obteniendo los siguientes resultados (Tabla 5.2): Para observar detalles de tabla resumen ver anexos A, B, C, D, E, F, G.

CONSOLIDADO TOTAL TIEMPOS ANALISIS LABORATORIO	
Sección	Total Horas/semana
Control	131,8
Analítica	42,7
Gases	119,1
Instrumental	53,2
Especiales	43,9
Aguas	50,1
VoBo	66,7
Solicitudes adicionales (clientes externos, entes de control)	40,4
Tiempo adicional para análisis de R & r, capacitaciones, vacaciones, mantenimiento sistema de calidad, cartas de control.	126,9
TOTAL HORAS SEMANALES REQUERIDAS	674,7
N° ANALISTAS REQUERIDOS	14,1

Tabla 5.2 Consolidado total tiempos Análisis laboratorio

Fuente: SILAB. Autores del Proyecto Integrador.

Con base en los datos estadísticos históricos revisados, la revisión de las cargas de trabajo actuales y los proyectos en desarrollo, se evidencia un desbalance en el recurso humano necesario para soportar analíticamente a la operación: 11 disponibles vs 14.1 requeridos, es decir un déficit de 3 analistas.

5.2.1.3 Selección y verificación de las causas en el proceso Coordinación Inspección de calidad.

Una vez analizados los datos históricos de los números de análisis programados vs ejecutados, el recurso humano disponible y el tiempo empleado para la ejecución de cada análisis, observamos que existe un aumento sistemático de las cargas analíticas a

desarrollar por dichos técnicos, sobrepasando la capacidad disponible de respuesta del laboratorio, lo cual es un factor relevante en la problemática de estudio.

Los incrementos de estas cargas analíticas se fundamentan en las siguientes causas:

- Incremento en los controles operacionales
- Apoyo las 24 horas durante el cargue de productos de exportación (nafta virgen, gasolinas, diesel, jet a-1, butano y propano) en buque tanques.
- Monitoreo de la nafta pesada de Unidad de Ruptura Catalítica hacia el blending de diesel.
- Apoyo analítico a la implementación del control avanzado en las plantas de Unidad de destilación combinada y Unidad de ruptura catalítica.
- Apoyo al proyecto de propileno grado refinería
- Cumplimiento resolución 182087 de calidad de biocombustibles (biodiesel)

5.2.2 ANALISIS DE DATOS

5.2.2.1 Fase de Exploración. En esta fase se examinaron todos los datos recogidos en la etapa de medir. Inicialmente se realizó un gráfico de control del proceso en general en el periodo de estudio. Para determinar si el proceso estaba o no bajo control estadístico.

El objetivo del análisis de los gráficos de control además de analizar el comportamiento del proceso es detectar variaciones y patrones que se puedan presentar por causas especiales en el proceso, así como determinar si el proceso esta o no bajo control.

Para poder determinar si existían problemas por causas especiales dentro del proceso se realizó un gráfico de control de este para los 38 datos analizados durante el periodo de estudio.

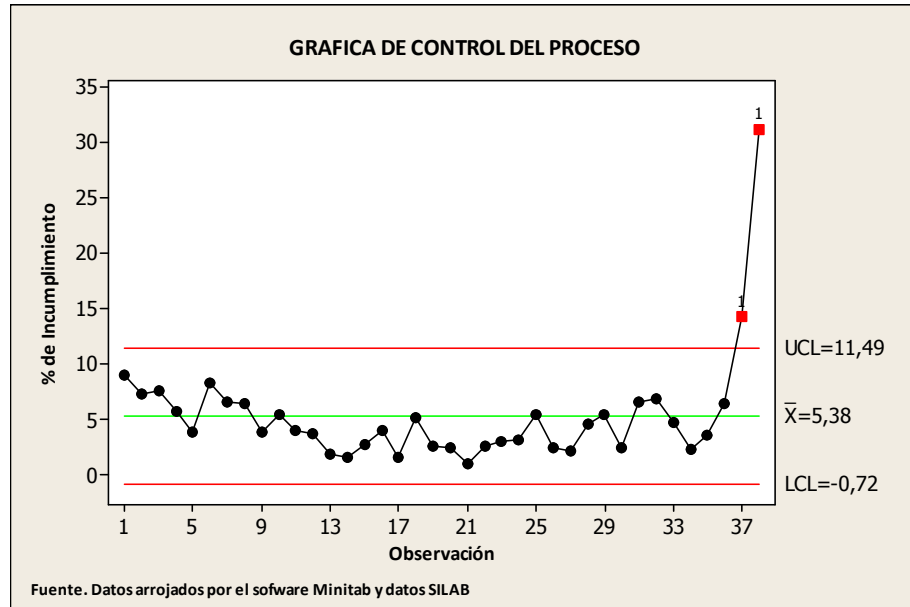


Grafico 5.1 Grafico de control del Proceso

Fuente: Datos arrojados por el software Minitab y datos SILAB, Autores del taller Integrador.

Resultados arrojados por el software Minitab de la grafica anterior

PRUEBA 1. Un punto más que las 3,00 desviaciones estándares desde la línea central.

La prueba falló en los puntos: 37; 38

5.2.2.1.1 Análisis de La Grafica de Control del Proceso

En este gráfico de control se presentaron dos puntos por fuera de los límites de control (Puntos 37 y 38), lo cual nos indica que se presentaron variaciones anormales en alguno de los factores del proceso, lo que indica que se tiene la influencia de una causa asignable, por esta razón se dice que el proceso no estuvo bajo control durante el periodo de de estudio.

Analizando los demás puntos de este grafico, podemos observar que hay una serie de puntos que se encuentran en forma sucesiva dentro de los límites de control a un

mismo lado de la línea central, es decir existe una racha, esto aunado a los puntos que están fuera de los límites de control significa que el proceso es inestable.

En este caso, se debe verificar y eliminar la causa asignable, de acuerdo con el esquema a continuación.

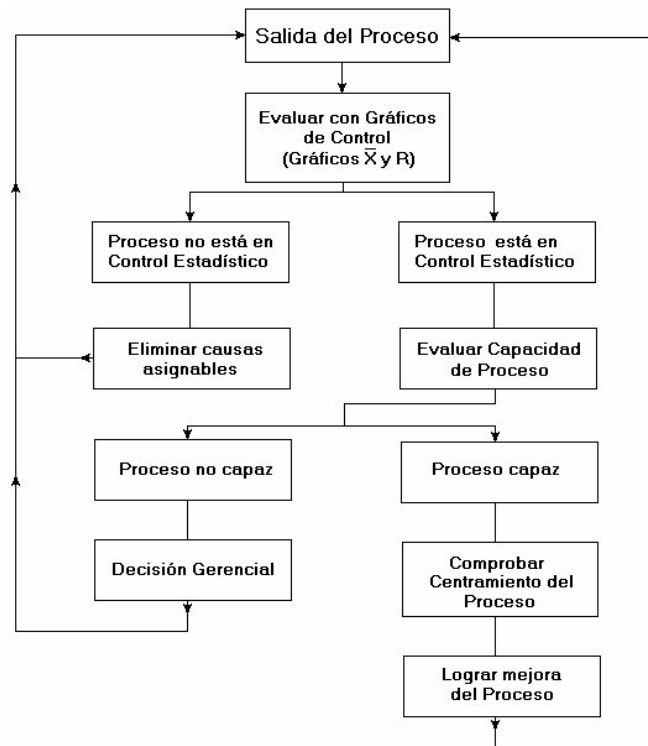


Figura 5.2 Etapas para la mejora de procesos

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/concalgra/concalgra.shtml>

Seguidamente del análisis de los gráficos de control y utilizando los mismos datos, se realizó un análisis para determinar el comportamiento de los datos, su distribución y determinar cuanta variación existe en estos mediante un histograma de frecuencia.

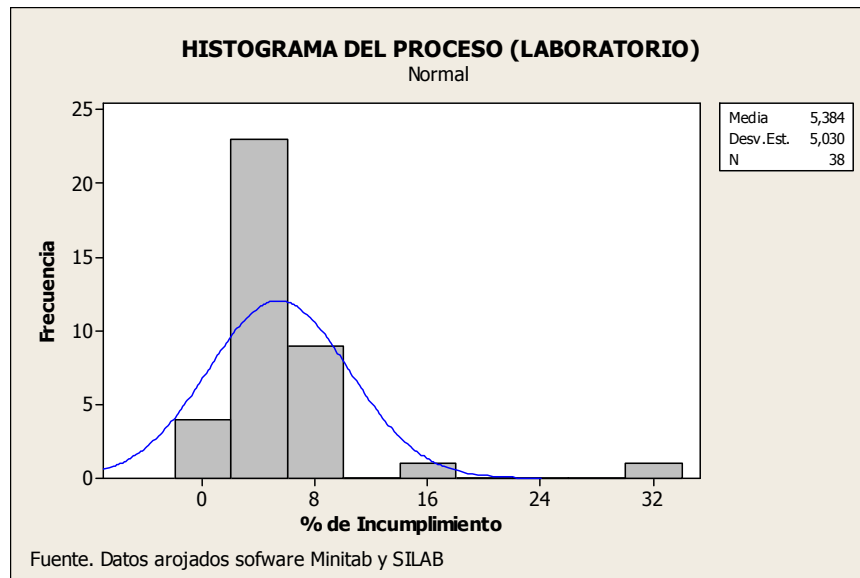


Grafico 5.2 Histograma de proceso

Fuente: Datos arrojados por el software Minitab y SILAB. Autores del taller Integrador

En el Histograma anterior se observa que existen datos por fuera de su distribución normal, lo que significa que el proceso no es satisfactorio y es necesario aplicar correctivos.

A pesar de que el histograma anterior nos muestra un comportamiento de los datos que parece no ser normal se realizó un test de normalidad con el fin de tener la completa certeza que los datos recolectados del proceso no se distribuyen de manera normal.

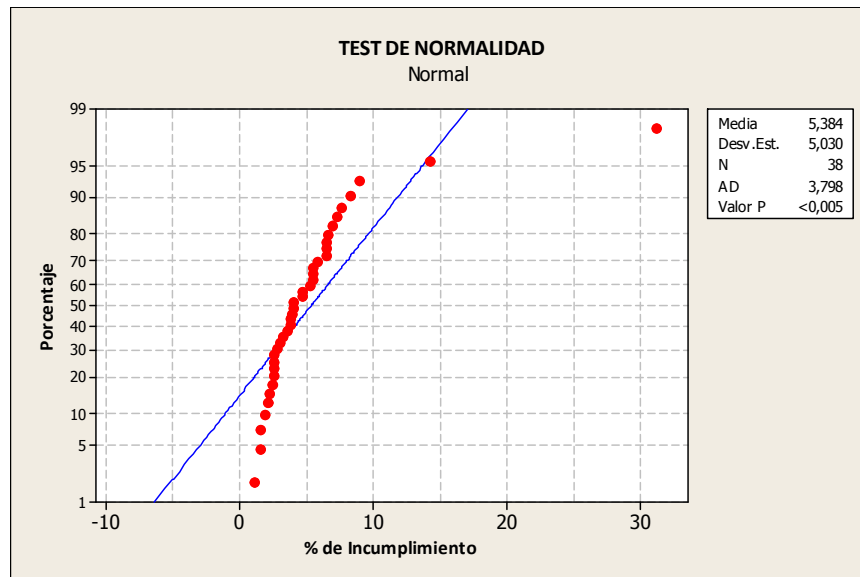


Grafico 5.3 Test Normalidad

Fuente: Datos arrojados por el software Minitab y SILAB Autores del taller Integrador

Se puede apreciar en el test de normalidad que los datos no tienen un comportamiento lineal, por lo tanto se dice que no se distribuyen de manera normal.

También se observa que el “p – value” que aparece en el recuadro del test de normalidad nos confirma la no normalidad de los datos, vemos que este tiene un valor de 0,005.

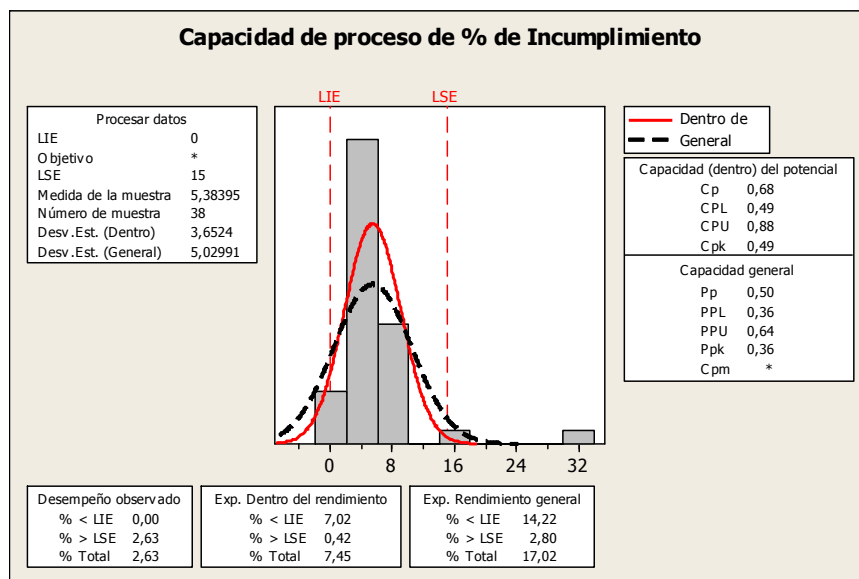


Grafico 5.4 Capacidad del proceso.

Fuente: Datos arrojados por el software Minitab y SILAB Autores del taller Integrador

Analizando el grafico de Capacidad del Proceso, podemos observar que su valor Cp (capacidad del proceso) obtenido a través del software Minitab es de 0,68, lo que indica que el proceso no es capaz de satisfacer las necesidades de los clientes.

Por otro lado analizando el valor Cpk (Capacidad real del proceso) observamos que su valor fue de 0,49, indicando y confirmando que el proceso no es capaz de satisfacer las especificaciones del cliente.

5.2.2.2 Generación de Hipótesis:

En esta fase se hizo uso de la herramienta “Diagrama de Ishikawa” o Diagrama de causa efecto” para generar ideas sobre la causa del problemas. Este diagrama se elaboró mediante una tormenta de ideas que realizó el equipo de trabajo.

Para la elaboración del Diagrama causa – efecto se declaró el efecto que se esta analizando en este proyecto como se puede observar en el diagrama, “Incumplimiento de análisis”, y en cada una de las ramificaciones se colocaron las posibles causas que pueden contribuir a que se presenten los incumplimientos en los equipos.

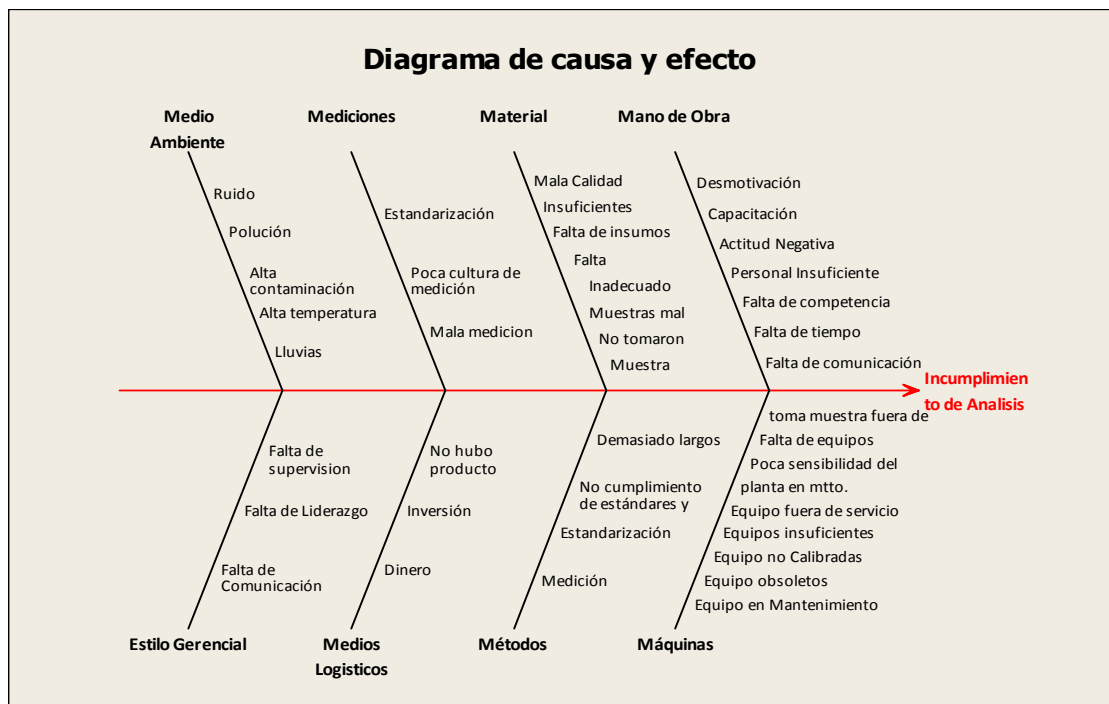


Figura 5.3 Diagrama de Causa Efecto

Fuente: Datos arrojados por el software Minitab y SILAB Autores del taller Integrador

De acuerdo a esta grafica entraremos a estudiar la causa raíz del problema, basados en la tabla 3.7 y gráfico 3.5 de la etapa definir, en las cuales se identificaron las causas asignables de la no realización de los análisis y fueron identificadas tres fuentes principales así: Equipo en Mantenimiento, Falta de tiempo y Equipos fuera de servicio, estos representan el 81,82% de la causa raíz del problema.

Para la realización y propuestas de las mejoras que mitigaran el impacto de la serie de variables que determinan e influyen fuertemente el problema de incumplimiento de los análisis programados vs. ejecutados, como son los equipos en mantenimiento y equipos fuera de servicios, se deben establecer los tiempos estimados entre fallas y el tiempo en que estos permanecen fuera de servicio. Con los datos extraídos de las hojas de vida de los equipos del laboratorio se determinará y establecerán éstos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los registros de fallas para los equipos que representan las mayores causas de incumplimientos en la unidad centro de estudio de este proyecto como son: (Destilador LABCL19, Cromatógrafo para análisis de azufrados LABGS21, Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08, Maquina para análisis de Octanos LABCL02, Espectrofotómetro de absorción Atómica LABIT19, Chispómetro LABCL34, Cromatógrafo de Gases LABGS09, Densímetro Digital LABCL44, Equipo para determinar presión de vapor LABCL54, Baño para viscosidad LABCL31), posteriormente se realizara en conjunto con el equipo de trabajo del proyecto la evaluación de las causas generales por las cuales estos equipos presentan bajas confiabilidades dentro del proceso de coordinación Inspección de calidad al momento de su utilización en la realización de los análisis, dichas causas se evaluaran bajo el esquema de ingeniería de confiabilidad y apoyados en la herramienta FMECA (Análisis Modal de Falla y efectos).

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM								
CÁLCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO DE DESTILADOR LABCL19								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA FECHA CALENDARIO	FINALIZA FECHA CALENDARIO	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS (HORAS)	HORAS CALENDARIO
1	Fuera de servicio	28/02/2006 10:00	29/03/2006 23:40	Aborta las destilaciones sin causa aparente	709,7			709,7
	Operando	29/03/2006 23:40	06/05/2006 9:37			897,9		897,9
2	Fuera de servicio	06/05/2006 9:37	05/07/2006 11:50	Tarjeta dañada	1.442,2		1.600	1.442,2
	Operando	05/07/2006 11:50	06/04/2007 15:20			6.603,5		6.603,5
3	Fuera de servicio	06/04/2007 15:20	15/05/2007 17:10	Tarjeta dañada	937,8		804,6	937,8
	Operando	15/05/2007 17:10	24/01/2009 13:00			14.875,8		14.875,8
4	Fuera de servicio	24/01/2009 13:00	27/02/2009 9:15	Tarjeta del medidor de nivel dañada	812,3		1581,4	812,3
	Operando	27/02/2009 9:15						0,0
ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded					MTTR	975,49		26.279,25
					MTTF		7459,09	6569,8125
					MTBF		8.489,00	
					R(CONFIABILIDAD)			0,0452
					$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$			
					TFS	TS	TS-TFS	
					3901,966667	2.2577,38333	26.279,25	
							85%	

Tabla N° 5.3 Cálculo de confiabilidad equipo Destilador LABCL19

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM								
CÁLCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO DE EQUIPO CROMATOGRAFO LABGS21 (FPD)								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA FECHA CALENDARIO	FINALIZA FECHA CALENDARIO	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS (HORAS)	HORAS CALENDARIO
1	Fuera de servicio	01/01/2005 10:00	02/07/2009 9:00	Problemas de repetibilidad en resultados. Daño sellos en detector	39.431,0			39431,0
	Operando	02/07/2009 9:00	02/07/2009 12:50			3,8		3,8
2	Fuera de servicio	02/07/2009 12:50	18/07/2009 11:15	Tarjeta dañadaRetiran componentes para hacer funcionar otro	382,4		39435	382,4
	Operando	18/07/2009 11:15	18/07/2009 14:50			3,6		3,6
3	Fuera de servicio	18/07/2009 14:50	03/09/2009 14:00	Tarjeta dañadaRetiran componentes para hacer funcionar otro	1.127,2		386	1127,2
	Operando	03/09/2009 14:00						
ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded					MTTR	13646,86		40948,00
					MTTF		3,71	13649,33
					MTBF		19910,42	
					R(CONFIABILIDAD)			0,1279
					$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$			
					TFS	TS	TS-TFS	
					40940,58333	7,416666667	40948	
							0,0181%	

Tabla N° 5.4 Cálculo de confiabilidad equipo cromatografo LABGS21

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM								
CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO DE EQUIPO ESPECTROFOTOMETRO DE RAYOS X LABIT08								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS	HORAS CALENDARIO
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO					
1	Fuera de servicio	30/09/2005 13:00	02/10/2005 15:15	Humedad relativa alta	50,3			50,3
	Operando	02/10/2005 15:15	02/07/2009 12:50			32853,6		32853,6
2	Fuera de servicio	02/07/2009 12:50	05/07/2009 11:40	Contaminación en sistema de inyección	70,8		32904	70,8
	Operando	05/07/2009 11:40						
ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded					MTTR	60,54		32974,67
					MTTF		32853,58	16487,33
					MTBF		32903,83	
					R(CONFIABILIDAD)			0,3671
					$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$			
					TFS	TS	TS+TFS	
					121,1	32853,6	32974,6667	
							99,63280%	

Tabla N° 5.5 Cálculo de confiabilidad equipo Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM								
CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO EQUIPO LABCL02 (MON)								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS	HORAS CALENDARIO
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO					
1	Fuera de servicio	25/08/2009 9:40	26/08/2009 16:00	Nock meter inestable	30,3			30,3
	Operando	26/08/2009 16:00	27/09/2009 21:00			773,0		773,0
2	Fuera de servicio	27/09/2009 21:00	01/10/2009 10:00	Nock meter inestable	85,0		803	85,0
	Operando	01/10/2009 10:00						0,0
ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded from the estimation in order					MTTR	57,67		888,33
					MTTF		773,00	222,0833
					MTBF		803,33	
					R(CONFIABILIDAD)			0,3309
					$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$			
					TFS	TS	TS+TFS	
					115,3333333	773	888,3333333	
							87,017%	

Tabla N° 5.6 Cálculo de confiabilidad equipo Maquina para Análisis de octanos LABCL02

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO EQUIPO LABIT19 (A/A)								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS (HORAS)	HORAS CALENDARIO
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO					
1	Fuera de servicio	01/09/2005 11:00	19/10/2005 13:15	Problemas con la tarjeta	1.154,3			1154,3
	Operando	19/10/2005 13:15	19/10/2005 17:20			4,1		4,1
2	Fuera de servicio	19/10/2005 17:20	29/11/2005 23:00	Humedad en la tarjeta	989,7		1158	989,7
	Operando	29/11/2005 23:00	10/03/2006 13:00			2414,0		2414,0
3	Fuera de servicio	10/03/2006 13:00	11/03/2006 15:20	No quema muestra	26,3		3404	26,3
	Operando	11/03/2006 15:20	21/03/2006 10:50			235,5		235,5
4	Fuera de servicio	21/03/2006 10:50	10/04/2006 10:35	No quema muestra	479,7		262	479,7
	Operando	10/04/2006 10:35	12/05/2006 6:10			763,6		763,6
5	Fuera de servicio	12/05/2006 6:10	14/05/2006 20:00	Fuente de poder dañada	61,8		1243	61,8
	Operando	14/05/2006 20:00	11/11/2008 0:00			21868,0		21868,0
6	Fuera de servicio	11/11/2008 0:00	18/12/2008 16:37	Problemas con la tarjeta	904,6		21930	904,6
	Operando	18/12/2008 16:37						0,0

ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded	MTTR	602,74			28901,62	
	MTTF		5057,03		4816,9361	-5,162
	MTBF			5599,40		
	R(CONFIABILIDAD)	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$			0,0057	
	TFS	TS	TS+TFS			
	2650	3417,16667	6067,16667			
			56%			

Tabla N° 5.7 Cálculo de confiabilidad equipo Espectrofotómetro succión atómica LABIT19 (A/A)

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO EQUIPO CHISPOMETRO LABCL34								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	MOTIVO	TIEMPO NO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS (HORAS)	HORAS CALENDARIO
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO					
1	Fuera de servicio	05/04/2006 21:05	01/06/2006 8:45	Valores altos a 3°C por encima de lo real	1.355,7			1355,7
	Operando	01/06/2006 8:45	17/10/2008 23:00			20870,3		20870,3
2	Fuera de servicio	17/10/2008 23:00	26/11/2008 22:10	No caliente	959,2		22226	959,2
	Operando	26/11/2008 22:10	27/03/2009 19:35			2901,4		2901,4
3	Fuera de servicio	27/03/2009 19:35	30/07/2009 18:30	Igniter Fuera de servicio	2.998,9		3861	2998,9
	Operando	30/07/2009 18:30						0,0

ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance	MTTR	1771,25			29085,42	
	MTTF		11885,83		9695,1389	-2,230
	MTBF			13043,25		
	R(CONFIABILIDAD)				0,1075	
	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$					
	TFS	TS	TS+TFS			
	5313,75	23771,66667	29085,41667			
			82%			

Tabla N° 5.8 Cálculo de confiabilidad equipo chispómetro LABCL34

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.
Autores del taller Integrador

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO								
CODIGO EQUIPO LABGS09 (PIANO)								
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	MOTIVO	TIEMPO HO OPERANDO	TIEMPO OPERANDO	TIEMPO ENTRE FALLAS (HORAS)	HORAS CALENDARIO
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO					
1	Fuera de servicio	30/01/2006 19:15	30/06/2006 17:30	Disco duro averiado	3.622,2			3622,2
	Operando	30/06/2006 17:30	03/01/2007 7:45			4478,3		4478,3
2	Fuera de servicio	03/01/2007 7:45	15/06/2007 11:00	automuestreador dañado	3.915,3		8100	3915,3
	Operando	15/06/2007 11:00	06/02/2009 14:10			14451,2		14451,2
3	Fuera de servicio	06/02/2009 14:10	05/04/2009 18:10	tarjeta principal dañada	1.396,0		18366	1396,0
	Operando	05/04/2009 18:10						0,0

ISO 14224 Depending of the interest of the user, only a part of the down time may be considered. Extra delays due to required external resources other than aintenance resources may be excluded	MTTR	2977,83			27862,92	
	MTTF		9464,71		9287,6389	-2,105
	MTBF			13233,46		
	R(CONFIABILIDAD)				0,1218	
		$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$				
		TFS	TS	TS+TFS		
		8933,5	18929,41667	27862,91667		
				68%		

Tabla N° 5.9 Cálculo de confiabilidad equipo Cromatógrafo de Gases LABGS09

Fuente: Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPELROL S.A. Autores del taller Integrador

Observando los cálculos de los equipos anteriores, se puede evidenciar el valor de confiabilidad para cada uno de ellos así:

EQUIPOS	CONFIABILIDAD
Destilador LABCL19	85,00%
Cromatógrafo para análisis de azufrados LABGS21	0,02%
Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08	99,63%
Maquina para análisis de Octanos LABCL02	87,01%
Espectrofotómetro de absorción Atómica LABIT19	56,00%
Chispómetro LABCL34	82,00%
Cromatógrafo de Gases LABGS09	68,00%

Tabla 5.10 Confiabilidad equipos de Laboratorio Refinería Cartagena S.A.

Datos de hoja de vida de los equipos Coordinación Inspección de Calidad Refinería de Cartagena ECOPELROL S.A. Autores del taller Integrador

Es de resaltar y aclarar que los siguientes equipos, Densímetro Digital LABCL44, Equipo para determinar presión de vapor LABCL54 y Baño para viscosidad LABCL31, no presentan reportes por fallas en el periodo de estudio del problema, las causas que afectan el incumplimiento de los mismos se deben a otras variables diferentes a la confiabilidad de los mismos.

5.2.2.2.1 Análisis FMECA (Análisis Modal de Fallas y Efectos) de los Equipos con mayor impacto en el problema de estudio por baja confiabilidad operacional.

Es un método inductivo, por medio del cual se identifican todas las formas de falla de la pieza o componente de un equipo y de los efectos potenciales de fallo sobre el sistema y determina los medios de detección para cada tipo de fallo (mil – std – 1629).²¹

Objetivos de FMECA.

Entre los objetivos que se buscan al aplicar esta herramienta al problema de estudio están:

1. Identificar los Modos de falla que tiene más posibilidad de pérdida de una función.
2. Identificar cual es la causa origen de cada falla.
3. Asegurar que no se malgaste el tiempo y esfuerzo tratando de buscar síntomas, en lugar de causas.

Esta herramienta fue trabajada con el equipo del proyecto DMAIC enunciado en el Cuadro 3.1 Cuadro de Proyecto DMAIC Refinería De Cartagena ECOPETROL S.A.

Con la aplicación de esta herramienta se busca responder a las preguntas planteadas en la siguiente figura.

²¹ Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.



Grafico 5.5 Grafica desarrollo Practico FMECA

Fuente: Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.

Para realizar el análisis de las causas generales de los equipos que impactan el problema de estudio se utilizaron las escalas de medición de FMECA a continuación:

CLASIFICACION DE LAS FALLAS	
SIGLA	TIPOS DE FALLAS
FDI	FALLA POR DISEÑO
FMA	FALLA POR MATERIAES
FMP	FALLA POR MATERIA PRIMA
FEH	FALLA POR ERROR HUMANO
FFE	FALLA POR FACTORES EXTERNOS
FIP	FALLA INHERENTE AL PROCESO
FSI	FALLA DEL SISTEMA DE INFORMACION
FOP	FALLA DE OPERACION
FMT	FALLA DE MANTENIMIENTO

Tabla 5.11 Clasificación de las fallas

Fuente: Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.

PO = PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			
CLASE	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	FALLAS	PUNTOS
MUY ALTA	LA FALLA ES CASI INEVITABLE	1 EN 2 HRS	10
		1 EN 3 HRS	9
ALTA	EL PROCESO NO ESTA EN CONTROL ESTADISTICO O SIMILARES	1 EN 8 HRS	8
		1 EN 20 HRS	7
MODERADA	EL PROCESO ESTA EN CONTROL ESTADISTICO PERO CON FALLAS AISLADAS. PROCESOS PREVISO TIENEN FALLAS	1 EN 80 HRS	6
		1 EN 400 HRS	5
		1 EN 2000 HRS	4
BAJA	EL PROCESO ESTA EN CONTROL ESTADISTICO	1 EN 15000 HRS	3
MUY BAJA	EL PROCESO ESTA EN CONTROL ESTADISTICO. SOLO FALLAS AISLADAS ASOCIADAS CON PROCESOS CASI IDENTICOS	1 EN 150.000 HRS	2
REMOTA	LA FALLA ES IMPROBABLE. NO SE CONOCEN FALLAS ASOCIADAS CON PROCESOS CASI IDENTICOS	1 EN 1.5 M HRS	1

Tabla 5.12 Probabilidad de Ocurrencia

Fuente: Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.

PS = PROBABILIDAD DE SEVERIDAD		
CLASE	SEVERIDAD O EFECTO	PUNTOS
EXTREMA	PUEDE DAÑAR LA MAQUINA O AL OPERADOR. PELIGRO SIN ADVERTENCIA	10
	PUEDE DAÑAR LA MAQUINA O AL OPERADOR. PELIGRO CON ADVERTENCIA	9
ALTA	INTERRUPCIÓN EL LA LINEA DE PRODUCCIÓN. PERDIDA DE LA FUNCION PRIMARIA. 100% DE DESPERDICIO.	8
	REDUCCION DE LA FUNCION PRIMARIA. EL RPODUCTO REQUIERE CLASIFICACIÓN. ALGO DE DESPERDICIO.	7
MODERADA	INTERRUPCION MENOR DE LA PRODUCCION. ALGO DE DESPERDICIO. PERDIDA DE DESEMPEÑO DE LA FUNCION SECUNDARIA.	6
	INTERRUPCION MENOR DE LA PRODUCCION. 100 % DE REPROCESO. DESEMPEÑO REDUCIDO DE LA FUNCION SECUNDARIA.	5
	DEFECTO MENOR IDENTIFICADO POR CASI TODO LOS CLIENTES. EL RPODUCTO REQUIERE CLASIFICACION Y ALGO DE RETRABAJO	4
BAJO	DEFECTO MENOR IDENTIFICADO POR ALGUNOS CLIENTES	3
	DEFECTO MENOR IDENTIFICADO POR UN CLIENTES OBSERVADOR. LOS DEFECTOS PUEDEN SER TRABAJADOS EN EL LUGAR.	2
NULA	NO HAY EFECTO	1

Tabla 5.13 Probabilidad de Severidad

Fuente: Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.

PO = PROBABILIDAD DE DETECCION			
CLASE	PROBABILIDAD DE DETECTAR LA FALLA	PROBAB.	PUNTOS
MUY BAJA	NO SE CONOCE CONTROLES DISPONIBLES PARA DETECTAR EL MODO DE FALLA.	1 EN 10 HRS	10
BAJA	LOS CONTROLES TIENEN UNA REMOTA POSIBILIDAD PARA DETECTAR LA FALLA	1 EN 20 HRS	9
		1 EN 50 HRS	8
MODERADA	LOS CONTROLES PUDIERAN DETECTAR LA EXISTENCIA DE UNA FALLA.	1 EN 100 HRS	7
		1 EN 200 HRS	6
		1 EN 500 HRS	5
ALTA	LOS CONTROLES TIENE UNA BUENA OPORTUNIDAD DE DETECTAR LA EXISTENCIA DE UNA FALLA	1 EN 1000 HRS	4
		1 EN 2000 HRS	3
MUY ALTA	EL PROCESO DETECTA AUTOMATICAMENTE LA FALLA. LOS CONTROLES CASI SIEMPRE DETECTAN LA FALLA	1 EN 5000 HRS	2
		1 EN 10000 HRS	1

Tabla 5.14 Probabilidad de Detección

Fuente: Material de estudio Ingeniería De confiabilidad. Especialización Gerencia Producción de Calidad 2008. Profesor Gonzalo Cardozo C.

5.2.2.3 Selección de la causa Raíz del Problema:

Todas las causas mencionadas anteriormente fueron seleccionadas inicialmente mediante una tormenta de ideas realizada con el personal participante en el proyecto, en donde similar al gráfico de espina de pescado mostrado anteriormente se identificaron todas las posibles causas o efectos que contribuían al problema.

Luego de haber analizado cada una de las causas potenciales del problema mediante el análisis de datos y el análisis del proceso se han descartado aquellas causas que no afectan de manera significativa el proceso. Con base en las justificaciones y evidencias mostradas anteriormente finalmente se llegó a la selección de las dos causas raíz de mayor relevancia en el problema del incumplimiento de los análisis Programados vs. Ejecutados. Estas causas se definieron como:

1. Equipos fuera de servicio o en mantenimiento
2. Falta de Recurso Humano para la realización de los análisis programados.

5.2.2.4 Verificación de las Causas Seleccionadas.

Con el fin de corroborar el porque de la selección de las causas seleccionadas anteriormente, se revisaron tablas de programación de mantenimientos de los equipos del laboratorio, se identificó que los mantenimientos preventivos de los equipos de este proceso están programados dos meses al año (semestralmente), sin embargo se evidenció un alto porcentaje de mantenimientos correctivos, lo que indica que este programa debe optimizar su frecuencia y así evitar la ausencia constante de los equipos por daños.

En cuanto al recurso Humano requerido se evidenciaron solicitudes requeridas por el coordinador del laboratorio para incorporar nuevos técnicos en la operación diaria del proceso de coordinación inspección de calidad.

Se incremento en un 100% los mantenimientos preventivos planeados durante el año, es decir se paso de dos mantenimientos preventivos anuales a cuatro, esto con el fin de reducir las fallas en los equipos.

Adicional a esto, se realizaron contratos de Mantenimiento externo con los proveedores exclusivos para atacar estos problemas.

6. ETAPA MEJORAR

En esta etapa cobra una preferencia relevante por parte del equipo de trabajo del Proceso Coordinación Inspección de Calidad de la Refinería de ECOPETROL S.A., por su amplio conocimiento de cada una de las actividades del proceso como de todas las herramientas, materiales, equipos, y demás variables presentes en éste. Aunado a este conocimiento, se suma la capacidad creativa de todos los involucrados en el proyecto de mejora, ya sea, haciendo uso de herramientas técnicas, métodos de trabajo, entre otros, con el fin de llegar a la opción de mejora más óptima o acertada para su posterior implementación.

La etapa de Mejora de la metodología DMAIC, incluye las fases de diseño e implementación, pero como ya se ha mencionado anteriormente, el proyecto carecerá de implementación solo se limitará hasta la propuestas de acciones de mejoras fundamentadas en las etapas de definir, medir y analizar de la metodología DMAIC.

Mediante el uso de matrices de mejoramiento continuo 5W 2H, se establecerá de forma esquemática el plan de acción que le permita ECOPETROL S.A., eliminar o reducir las causas de los incumplimientos, cumpliendo así con el objetivo del presente proyecto de mejora.

Con base al análisis realizado previamente en cada una de las etapas sobre el proceso que fue objeto de estudio se plantean las siguientes recomendaciones para la posterior implementación:

1. Fomentar y acentuar en cada uno de los miembros del equipo de Coordinación Inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A. una cultura de Mejora enfocada en los procesos, con la finalidad de que surja en todos al unísono un sentido de pertenencia para con sus labores, con la empresa y venciendo así, aquellos

obstáculos que surgen del traumatismo que presentan los cambios y que muchas veces son mal entendidos.

Esto se puede lograr con charlas, capacitaciones en motivación, otras enfocadas al objetivo del proceso, y entre las muchas temáticas que se pueden desarrollaren esta parte, sería muy recomendable y productivo infundarles estrategias, metodologías de mejoramiento Six Sigma para que sean ellos mismo quienes participen de forma activa en la solución a los problemas y finalmente en el mejoramiento que tanto persigue la organización.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H			
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DEL LABORATORIO EN METODOLOGÍA DMAIC			
¿QUÉ?	Entrenar al personal de la Coordinación de Inspección de Calidad de la Refinería de Ecopetrol S.A. en metodología de mejoramiento DMAIC.	¿CUÁNDO?	Se estima sean realizadas durante el primer semestre del año 2010. Las capacitación teórica se realizaran en jornada continua durante 3 dias y la parte practica se realizaran en las primeras horas de cada turno.
¿QUIÉN?	El grupo de analistas del laboratorio, supervisor, lider de aseguramiento de la calidad y el Coordinador de Inpección de Calidad. Además los dos instrumentistas del laboratorio. El responsable de esta actividad es el Coordinador del Proceso Inspección de Calidad.	¿POR QUÉ?	Con este entrenamiento al personal de laboratorio, se pretende que sea el mismo personal aplique las metodología DMAIC para la solución de los problema y mejoramiento continuo.
¿DÓNDE?	Estas capacitaciones se realizaran en las instalaciones del Hotel Hilton de Cartagena en su etapa teorica, y la parte practica se realizará en Las instalaciones de Ecopetrol en Mamonal, específicamente en el laboratorio	¿CÓMO?	Se consulto una firma especializada para esta capacitación por el Dpto de Talento Humano. Este entrenamiento se estima en alrededor de 50 horas. 27 horas teoricas y 23 horas practicas.
		¿CUÁNTO CUESTA?	Se tiene unos costos iniciales estimados en \$350.000 pesos/ hora de capacitación. Para las 50 horas \$17.500.000 pesos.

Gráfico 6.1 Matriz 5W 2H Capacitación Personal del laboratorio Metodología DMAIC

Fuente: Equipo de Trabajo Proyecto DMAIC.

2. Se hizo evidente que la causa primordial y común que forzaba a los diferentes equipos a salir fuera de servicio, era el problema presentado en las tarjetas integradas. Estas se encontraban con rastros de humedad y sulfatación al interior de sus circuitos.

Como posibles causas de esta humedad, se detectó que los seis deshumificadores con que cuenta el área del laboratorio, todos ellos se encuentran fuera de servicio. Esto obliga a proponer un estudio de análisis de los componentes en suspensión que coexisten actualmente en el laboratorio, para así conocer y proponer acciones de mejoras que garanticen un entorno menos corrosivo de vapores, gases y otros que catalizan la corrosión y sulfatación de los equipos electrónicos.

Adicionalmente, se debe calcular la humedad que hay presente en el laboratorio, hacer un nuevo cálculo de los deshumificadores, como de su posición estratégica para que su eficiencia sea mayor.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H			
ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DESHUMIFICADORES PARA EL LABORATORIO			
¿QUÉ?	Realizar nuevamente el estudio de componentes corrosivos y humedad presente en el área del laboratorio. Con base al anterior estudio, realizar gestión de adquisición de deshumificadores y puesta en funcionamiento de los mismos para las diferentes secciones del laboratorio.	¿CUÁNDO?	Se estima sean realizadas durante el último trimestre del año 2009.
¿QUIÉN?	Departamento de Compras y Suministro, de la mano de Departamento de Mantenimiento Y por parte de la Coordinación de Inspección de Calidad, el líder técnico del proceso	¿POR QUÉ?	Con la instalación de los extractores blowers y deshumificadores se pretende reducir la humedad relativa (83% actualmente) y el ambiente corrosivo del laboratorio, que afectan el funcionamiento de las tarjetas electrónicas de los equipos por la alta condensación y sulfatación propiciada en los contactos electrónicos.
¿DÓNDE?	En todas las secciones del laboratorio que son: Control y VoBo, Instrumental, Analítica, Aguas y análisis especiales, Octanos, Cromatografías de Gases.	¿CÓMO?	Por licitación pública Nacional con proveedores especializados en el tema. No dealers. Indicando todas las garantías y condiciones comerciales
		¿CUÁNTO CUESTA?	El costo actual de un deshumificador de 2 toneladas tiene un costo aproximado de 3.500.000 pesos. Además se debe tener el resultado del estudio para saber su cantidad. El material de los álabes de los extractores debe estar sujeto a los componentes corrosivos hallados en el ambiente y eso también afecta directamente los costos.

Gráfico 6.2 Matriz 5W 2H Adquisición de deshumificadores para el laboratorio

Fuente: Equipo de Trabajo Proyecto DMAIC.

3. Igualmente se plantea un cambio de redes y acometidas eléctricas, cambio de la ups para regular el voltaje de trabajo en el laboratorio, con el fin de proteger los equipos donde se realizan los diferentes análisis físico químicos de la refinería. Entre muchas fallas encontradas en los equipos analizados, se detectaron casos catastróficos, como la quema de la resistencia eléctrica del horno del equipo de cromatografía LABGS21 y otros equipos con daños en las tarjetas electrónicas por alto voltaje, por ejemplo, el equipo LABCL54, LABGS10, entre otros.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H					
CAMBIO GENERAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS Y ACOMETIDA REGULADA DEL LABORATORIO					
¿QUÉ?	Realizar el cambio de toda el Sistema Eléctrico del Laboratorio. Cambio de acometida y fuente UPS reguladora.	¿CUÁNDO?	Se tiene estimada ser reemplazado el sistema eléctrico en el 2011, y la fuente reguladora UPS en el primer semestre de 2010.		
¿QUIÉN?	Departamento de Proyectos. De forma conjunta con el Departamento de Mantenimiento y la Coordinación de Inspección de Calidad	¿POR QUÉ?	El actual sistema eléctrico y acometida reglada en la cual se tienen conectados los equipos del laboratorio, esta ocasionando daños en las tarjetas integradas de los mismos por su deterioro y antigüedad, quedando fuera de servicio.		
¿DÓNDE?	En la Coordinación Inspección de Calidad. Áreas, secciones, oficinas.	¿CÓMO?	Por licitación pública Nacional con proveedores especializados en el tema. No dealers. Indicando todas las garantías y condiciones comerciales		
		¿CUÁNTO CUESTA?	Según costos estimados por el Departamento de Proyectos, el cambio de red eléctrica y acometidas reguladora es de 1.200 millones de pesos aproximadamente		

Gráfico 6.3 Matriz 5W 2H Cambio General de la Redes Eléctricas y Acometida Regulada del Laboratorio

Fuente: Equipo de Trabajo Proyecto DMAIC.

4. También se recomienda contratar los tres analistas faltantes para el laboratorio, calculados según se demostró en el capítulo anterior que el recurso humano existente no cubre la capacidad de trabajo solicitados por los clientes.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H			
CONTRATACIÓN DE 3 ANALISTAS PARA EL LABORATORIO			
¿QUÉ?	Contatar y dar entrenamiento a tres tecnólogos en control de calidad y/o afines,	¿CUÁNDO?	Tercer trimestre de 2009
	para desempeñarse como técnicos analistas en la Coordinación de Inspección de Calidad	¿POR QUÉ?	Según la tabla N° 5.2, que muestra el cálculo del personal para las actividades del laboratorio, revela el hecho que se requiere un recurso humano de analistas de 14,1 y en la actualidad se tienen solo 11 analistas, lo que retrasa la realización de muchos de los análisis contribuyendo en el porcentaje de incumplimiento. Esta es una solución temporal mientras se cambia de tecnología en los equipos la cual reduciría los tiempos de los análisis y así el número de analistas requeridos.
¿QUIÉN?	El Coordinador de Inspección de calidad, debe solicitar y justificar a la Vice Presidencia de Talento Humano VTH, la contratación de los tres (3) analistas. La VTH se encargará del reclutamiento del personal.	¿CÓMO?	Según la metodología de selección de personal de la VTH de ECOPETROL S.A. y el VoBo del Coordinador de Inspección de Calidad. El personal seleccionado será entrenado por el líder de Aseguramiento de la Calidad, con base al manual de entrenamiento y capacitación del CIC (Coordinación Inspección de Calidad).
	En el Proceso de Coordinación Inspección de Calidad.	¿CUÁNTO CUESTA?	Se tiene estratificado en la nómina de Ecopetrol, que el costo presente de contratar un analista básico (técnico 3) es de \$ 2.418.000 incluidas las prestaciones y extralegales . Para un costo mensual de \$ 7.254.000 pesos

Gráfico 6.4 Matriz 5W 2H Contratación de tres analistas para el laboratorio

Fuente: Equipo de Trabajo Proyecto DMAIC.

5. La meta mensual del indicador de productividad del laboratorio, el cual mide los análisis ejecutados vs. los programados por los clientes, actualmente es del 85%, realizando la conversión de este a nivel sigma se obtiene un nivel de 2.538 σ , se recomienda subir este indicador para el año 2010 a 99.38% que equivale a un nivel sigma de 4.0, y después de asegurar este objetivo realizar incrementos en un nivel sigma anualmente.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H					
Subir indicador de productividad del laboratorio					
¿QUÉ?	Subir el nivel sigma del laboratorio de 2,38 a	¿CUÁNDO?	Tercer trimestre de 2009		
	4,0 sigma		En la medida que se tracen metas ambiciosas		
¿QUIÉN?	El Coordinador de Inspección de calidad, se encargará de la sensibilizacion y ventajas que se obtendria al subir este indicador. Las culaes compartira con todo el personal del laboratorio	¿POR QUÉ?	los resultados son mejores, ademas se busca disminuir de 150000 DPMO a 6200 DPMO		
			Cambiando el valor de la caracterizacion del laboratorio,sensibilizacion del personal del laboratorio , mayor control del supervisor en la ejecucion de los analisis.		
¿DÓNDE?	En el Proceso de Coordinación Inspección de Calidad.	¿CÓMO?	Se tiene estimado en \$500000 mensual		

Grafico 6.5 Matriz 5 W 2 H Subir indicador de productividad del laboratorio.

Fuentes: Equipo de trabajo proyecto DMAIC.

6. El tiempo de realización de análisis para Destilación y Determinación de metales es de 1 hora y 8 horas respectivamente, se recomienda adquirir tecnología de punta para la realización de los mismos en un menor tiempo así:

Para el caso de la Destilación adquirir minidestiladores, se pasaría de realizar el análisis en 1 hora a tener el resultado en 10 minutos.

Para la determinación de metales cambiar el equipo espectrofotómetro de absorción atómica por un Espectrofotómetro de RX, se pasaría de realizar el análisis en 8 horas a tener el resultado en 30 minutos.

PLAN DE ACCIÓN MATRIZ 5W 2H					
Adquirir Nuevos equipos para AA y Destilacion					
¿QUÉ?	Adquirir tecnología de punta para los analisis de destilacion y determinacion de metales por absorcion atomica, ademas la capacitacion del personal en estas nuevas tecnicas analiticas	¿CUÁNDO?	Segundo trimestre del 2010 para los minidestiladores y Primer trimestre del 2011 para el equipo de RX		
			Tener resultados analiticos en tiempo real, lo cual permitira mejor control operación , mayor frecuencia de analisis.		
¿QUIÉN?	El Coordinador de Inepección de calidad, debe solicitar y justificar a la gerencia las bondades y beneficios de esta compra.	¿POR QUÉ?	Por licitación pública Nacional con proveedores especializados en el tema. No dealers. Indicando todas las garantías y condiciones comerciales		
			Se tiene estimado en \$60000000 por cada minidestilador y \$700000000 para el equipo de RX		
¿DÓNDE?	En el Proceso de Coordinación Inspección de Calidad.	¿CÓMO?			

Grafico 6.5 Matriz 5 W 2 H Adquirir nuevos equipo para A.A y Destilación.

Fuentes: Equipo de trabajo proyecto DMAIC.

7. Al resumir todas las acciones de mejoras recomendadas en los análisis FMECA desarrollados en los equipos que contribuían mayormente en el incumplimiento de los análisis por su baja confiabilidad y disponibilidad, que se elaboraron en el capítulo

anterior, se sugiere convertirlas todas en un proyecto formal de mejora, siendo este manejado de forma conjunta por los departamentos de Mantenimiento y la Coordinación de Inspección de calidad de la Refinería de Cartagena de Ecopetrol S.A., para que desde un principio éste se vislumbre como una meta a alcanzar en un tiempo determinado, con un costo en su desarrollo y un beneficio calculado de su retorno, para que este proyecto integrador no se convierta en un estudio más.

7. CONCLUSIONES

Seis Sigma puede enfocarse de diferentes maneras de acuerdo a las expectativas que cada empresa quiera lograr, para ello, es necesario tener una visión amplia de lo que la empresa requiera, ya que aplicar Seis Sigmas es un proceso amplio y con un alto costo.

Para ingresar a esta herramienta de calidad cada empresa deberá tener bien estructurado y definido sus aplicaciones, ya que si estas no estén bien dirigidas, los resultados no serán los esperados, si se quieren alcanzar los resultados de un nivel 6 sigma se deberá invertir un alto costo en la capacitación de todo su personal con el fin de obtener buenos resultados y beneficios millonarios.

Con las herramientas estadísticas de la Metodología DMAIC, aunados a herramientas de ingeniería de confiabilidad se pueden alcanzar u obtener óptimos resultados en los procesos productivos o de servicios de cualquier organización, ya que sus aplicaciones representan mejoras significativas en un corto plazo, apuntando a una mayor rentabilidad y competitividad de las empresas en el mundo actual.

Con el desarrollo de este proyecto, se evidenciaron las fortalezas del proceso de Coordinación de inspección de Calidad de la Refinería de Cartagena Ecopetrol S.A, tales como su infraestructura, equipo de tecnología de punta y competencia del recurso humano, sin embargo tiene aspectos por mejorar, los cuales con la aplicación de la gestión de mejora planteada en este proyecto, se busca ayudar a mejorar el proceso, obteniendo finalmente mayor rentabilidad y agilidad en tiempos de respuestas a las solicitudes requeridas por sus clientes.

Una vez que se conoció el proceso de Coordinación Inspección de calidad, se procedió al despliegue de la metodología DMAIC, con el inicio de la primera etapa, la cual consistió en la definición del problema. Para esto se utilizaron los datos históricos del Software de manejo de datos e información del laboratorio SILAB, Además de utilizar

información interna de la empresa, como es el caso de los reporte de fallas de clientes externos e internos de las diferentes unidades operativas.

Con base a una serie de herramientas estadísticas tales como diagrama de pastel, diagramas de Pareto, histogramas, tablas de distribución de frecuencia, entre otros, se identificaron cuales de los análisis son los que más impactan la problemática objeto de estudio, definido como incumplimiento de análisis programados vs ejecutados.

La focalización de estos análisis se dio en el siguiente orden: Destilación, Azufrados, Número de Octano, Metales, Punto de Inflamación, API, Cromatografía Viscosidad y Presión de vapor.

Seguidamente de haber conseguido identificar los análisis que representaban la mayor cantidad de incumplimientos, el siguiente paso fue definir e investigar porque se producen tantos incumplimientos de éstos en los productos y cuáles de ellos son los factores más representativos de todos.

Mediante la aplicación de herramientas estadísticas como Tablas de frecuencia y gráficas de Pareto a los datos debidamente obtenidos y organizados del software SILAB, se determinaron las causas asignables de la no realización de los análisis programados, las cuales, se debían a la intervención de actividades de mantenimiento a la que se someten los equipos (equipos fuera de servicio) y la poca disponibilidad de tiempo del personal.

La medición requerida para la segunda etapa de la metodología DMAIC (medir), se fundamento en la información contenida en el software **SILAB**, que es la base de datos que maneja y administra todo el sistema de información y datos del laboratorio de la Refinería de Cartagena ECOPETROL S.A.

Este software SILAB versión 5.1 con servidor de datos Oracle v8.1.7 y servidor de aplicaciones Unix, Oracle forms and reports, cliente/servidor elaborado por Applied Biosystems SQL*LIMS v5, tiene las características particulares o propias de cualquier instrumento de medición estadístico y diseño de muestra como confiable, representativo, de tamaño adecuado y suficiente, lo que permitió emplear la información recopilada en esta base de datos para utilizarla como datos de medición de la variable del problema de incumplimiento de los análisis programados vs los ejecutados.

Para la tercera etapa de analizar, se visualizo en la caracterización del proceso que la meta mensual del indicador de productividad del laboratorio, el cual mide los análisis ejecutados vs. los programados por los clientes es del 85%, se realizo la conversión de este valor a nivel sigma y se obtuvo un nivel de 2.538 σ , lo que Significa un objetivo poco ambicioso a pesar de estar cumpliendo con la meta establecida, con este nivel le permite al proceso obtener 150.000 DPMO, equidistante a 3,4 DPMO propuesto para alcanzar el nivel 6 sigma.

Se realizo un análisis del nivel sigma promedio calculado del periodo de estudio, obteniendo un resultado de 3,19 sigma, equivalente a un rendimiento de 94,61%. Este es un valor bastante atractivo a primera vista, sin embargo permite obtener la cantidad de 53.800 DPMO, esta cantidad es un valor bastante alto, el cual debe ser disminuido ya que el impacto económico es significativo para cualquier empresa.

Se analizaron los datos históricos de los números de análisis programados vs ejecutados, el recurso humano disponible y el tiempo empleado para la ejecución de cada análisis, se observo que existe un aumento sistemático de las cargas analíticas a desarrollar por dichos técnicos, sobrepasando la capacidad disponible de respuesta del laboratorio, lo cual es un factor relevante en la problemática de estudio, de acuerdo a esto, el déficit de personal del proceso es de tres técnicos.

Se revisaron las herramientas de calidad aplicadas al proceso de coordinación de calidad para observar sus comportamientos en el problema objeto de estudio; se utilizaron las herramientas gráfico de control del proceso, Histograma, capacidad del proceso y test de normalidad

En el gráfico de control del proceso, se encontraron dos puntos por fuera de los límites de control, lo cual indica que existían variaciones anormales en alguno de los factores del proceso, identificando que se tenía la influencia de una causa asignable, por esta razón se observó que el proceso no estaba bajo control durante el periodo de estudio, es decir el proceso es inestable.

En el Histograma de los datos del proceso se observó que existen datos por fuera de su distribución normal, lo que significa que el proceso no es satisfactorio y es necesario aplicar correctivos.

Se pudo apreciar en el test de normalidad que los datos no tienen un comportamiento lineal, por lo tanto se dice que no se distribuyen de manera normal.

Analizando el gráfico de Capacidad del Proceso, se observó que su valor C_p (capacidad del proceso) es de 0,68. lo que indica que el proceso no es capaz de satisfacer las necesidades de los clientes.

Finalmente en esta etapa se analizaron los cálculos de confiabilidad operacional de los equipos que impactan la problemática en estudio, se pudo constatar que los valores obtenidos son bajos excepto el equipo Espectrofotómetro de Rayos X LABIT08.

Con base en las justificaciones y evidencias desarrolladas, se llegó a la selección de las dos causas raíz de mayor relevancia en el problema del incumplimiento de los análisis Programados vs. Ejecutados. Estas causas se definieron como:

1. Equipos fuera de servicio o en mantenimiento
2. Falta de Recurso Humano para la realización de los análisis programados

En la etapa de mejora, se realizaron una serie de recomendaciones donde se plantean alternativas para contrarrestar el incumplimiento de los análisis ejecutados vs los programados que fue el objeto de estudio, y que es contribuyente a reducir los altos costos de mala calidad que en el proceso de Coordinación Inspección de calidad se están presentando.

Dentro de las recomendaciones propuestas se citan el uso de nuevas tecnologías, las cuales pueden no ser consideradas por la empresa de forma inmediata, pero que a futuro generaran rendimiento y eficiencia al proceso de coordinación inspección de calidad, a la vez hay recomendaciones que son más viables para la empresa, de fácil ejecución y a un bajo costo en su implementación.

BIBLIOGRAFIA

- CHASE, Richard; AQUILANO, Nicholas; JACOBS, Robert. Administración de producción y operaciones: Manufactura y Servicios. 8ª edición; Editorial Irwin Mc. Graw Hill.
- JAMES, Paul; TQM: La Gestión de la Calidad Total; Editorial Prentice Hall.
- ECKES, George; El Six Sigma para todos; Editorial Norma. 2004
- REVISTA GESTION. Volumen 6. Edición Abril – mayo 2003
- KUME, Hitoshi. Herramientas Estadísticas Básicas Para el Mejoramiento de la Calidad; Editorial Norma.
- PANDE, Peter S.; Las Claves Prácticas de Seis Sigma; Ed. Mac Graw Hill.
- Documentos y presentaciones. Módulos especialización Gerencia Producción y Calidad 2008

Referencias Internet.

- <http://www.mercadeo.com/archivos/six-sigma.pdf>
- http://www.google.com.co/search?hl=es&q=iso+9000+six+sigma&revid=1579844544&ei=LLq6SreNLt6ntgek0JCCDw&sa=X&oi=revisions_inline&resnum=0&ct=broad-revision&cd=6
- <http://www.ecopetrol.com.co>